Messungen und Registrierungen der dem Erdboden entquellenden Emanationsmengen.

Von der

kgl. Technischen Hochschule zu München

zur Erlangung der Würde eines Doktors

der technischen Wissenschaften genehmigte

Dissertation.

Vorgelegt von

Ludwig Endrös,

Hauptlehrer I. Klasse für Physik an den städt. Gewerbeschulen in München.

Referent:
Prof. Dr. Hermann Ebert.

Korreferent:
Prof. Dr. Oskar Knoblauch.

ACAD
LUGD BAT
BIBL

Erlangen

K. B. Hof- und Univ.-Buchdruckerei von Junge & Sohn.

1909.

Inhalt.

A. Einleitung.

Seite

1. Geschichtliches 1
2. Beobachtungsart 3
3. Beobachtungsstellen 5
4. Aktivität der Bodenkonstituenten 6

B. Instrumentarium und Methode.

1. Das Elektrometer 7
2. Versuchsanordnung bei den Messungen 8
3. Meßmethode 10
4. Versuchsanordnung zur Registrierung 15
5. Der Nebenschluß 16
6. Registriermethode 23
7. Meteorologische Angaben 26

C. Beobachtungsergebnisse.

1. Gesamtmittel und Extremwerte 28
2. Monatsmittel 32
3. Täglicher Gang 34
4. Ursachen des Emanationsaustrittes 37
5. Einfluß der Bewölkung 40
6. Einfluß der Lufttemperatur 43
7. Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit 44
8. Einfluß des Luftdruckes 45
9. Einfluß des Windes 49
10. Emanationsmenge bei Föhncharakter 52
11. Emanationsaustritt und Gewitter 55
12. Emanationsaustritt und Potentialgefälle 58
13. Mathematischer Ausdruck für den Gang des Emanationsaustrittes 61
14. Zusammenfassung der Hauptergebnisse 62

Figurentafeln I bis VIII.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555418_0023

A. Einleitung.

1. Geschichtliches.

Durch die klassischen Untersuchungen von J. Elster und H. Geitel[1]) ist zweifellos festgestellt, daß als hauptsächlichste Quelle des Ionengehaltes der freien Atmosphäre, wenigstens der unteren, dem Erdboden benachbarten und der Untersuchung zugänglichen Schichten, Emanationen in Frage kommen, die von den radioaktiven Bestandteilen der festen Erdrinde abgegeben werden. In besonders starker Anreicherung sind diese radioaktiven Emanationen in der von den Erdkapillaren eingeschlossenen Luft, der Bodenluft, vorhanden und gelangen mit dieser durch verschiedene Ursachen in die freie Atmosphäre, wo ein Teil ihrer radioaktiven Energie zur Ionenbildung verwendet wird.

Die Fortführung der von Elster und Geitel begonnenen Untersuchung der Bodenluft lieferte wertvolle Aufschlüsse über die Natur der Bodenluftemanation und ihre Verteilung im Erdboden selbst.

So wiesen H. Ebert und P. Ewers[2]) nach, daß die von der Bodenluft mitgeführte Emanation zunächst elektrisch neutral ist, dann aber das elektrische Zerstreuungsvermögen abgeschlossener Luftmengen zu einem

1) J. Elster und H. Geitel, Phys. Zeitschrift II, S. 118, 1901; II, S. 562, 1901; III, S. 575, 1902.

2) H. Ebert und P. Ewers, Phys. Zeitschrift IV, S. 162, 1902.

Betrage ansteigen läßt, der das des freien Luftraumes vielfach übertrifft. Durch Aufstellen der Abklingungskurve der Bodenluftemanation gelang es den Genannten, festzustellen, daß neben der Radiumemanation auch Thoriumemanation als wirksamer Bestandteil der Bodenluft aufzufassen ist, und daß unter dem Zusammenwirken beider, wenigstens für München, eine Aktivität zustande kommt, die eine Halbwertkonstante von 3,26 Tagen besitzt.

H. Brandes[1]) stellt als Resultat seiner ausgedehnten Messungsreichen fest, daß der Gehalt der Bodenluft an radioaktiver Emanation mit der Tiefe zunimmt, daß aber schon in einer Tiefe von etwa 2 m im Boden der Emanationsgehalt der Bodenluft einen Höchstwert erreicht, der bei weiterem Eindringen in den Boden nicht überschritten wird.

Über die Menge der in einem bestimmten Volumen dem Erdboden aus 1 m Tiefe entnommener Bodenluft enthaltenen Emanationsmenge liegen Messungen vor von A. Gockel[2]), welcher findet, daß 1 cbm Bodenluft eine Stromstärke von 0,2 bis 0,75 elektrostatischenEin heiten zu unterhalten vermag.

Die Frage jedoch, wieviel Emanation aus dem Erdboden tatsächlich austritt und in die freie Atmosphäre gelangt, welchen Änderungen dieses Übertreten unterworfen ist und welche Faktoren ändernd auf dasselbe einwirken, hat bis jetzt keine Beantwortung gefunden.

Auf Anregung und mit liebenswürdigster Unterstützung des Herrn Professors Dr. H. Ebert habe ich versucht, dieser Frage näher zu treten. Das Ergebnis der Untersuchungen ist in folgender Abhandlung niedergelegt.

1) H. Brandes, Inaug.-Dissert. Kiel 1905.
2) A. Gockel, Phys. Zeitschrift IX, S. 304, 1908.

2. Beobachtungsart.

Bei allen bisherigen Bodenluftuntersuchungen wurde nach dem Vorbilde von Elster und Geitel eine Methode verwendet, nach der aus einem in den Boden getriebenen Rohre Bodenluft entnommen und dann in einem eigenen Untersuchungsgefäß auf ihre Aktivität untersucht wird. Handelt es sich aber, wie bei der Beantwortung der aufgeworfenen Frage, darum, einen im Freien sich abspielenden, raschen Wechseln unterworfenen Prozeß zu verfolgen, so eignet sich die sonst so bewährte Versuchsanordnung nicht. Vielmehr ist es nötig, eine Versuchsanordnung im Freien so einzurichten, daß die unter denselben Bedingungen wie in der Natur aus dem Boden austretende Emanation vor ihrer Verteilung in den Luftraum den Meßraum passieren muß. Dies wird dadurch erreicht, daß in den Untergrund selbst eine Kondensatoranordnung eingebaut wird, so, daß die austretende Emanation und nur diese in den Raum zwischen den beiden Kondensatorteilen gelangen kann und hier ihre Wirksamkeit durch Bildung von gleichviel Ionen beiderlei Vorzeichens äußert. Durch Anwendung eines genügend starken elektrischen Feldes werden die Ionen eines Vorzeichens auf den mit einem empfindlichen Elektrometer verbundenen und isolierten Teil der Kondensatoranordnung getrieben. Die Aufladung desselben mit der Zeit ist dann ein Maß für die in der Zeiteinheit in der Einheit des Volumens gebildete Ionenzahl und damit der Emanationsmenge selbst. Die Anordnung, deren elektrische Konstanten mit Sicherheit bestimmt werden können, gestattet, die gesuchte Größe in absolutem Maße zu messen, so daß Messungen dieser Art von verschiedenen Stationen mit einander verglichen werden können. Außerdem ermöglicht sie, den Übergang der ionenbildenden Emanation aus dem Boden in

die Luft unter Anwendung eines geeigneten Registrierverfahrens kontinuierlich zu verfolgen.

Der Einbau der eigentlichen Meßvorrichtung in den Untergrund wurde in folgender Weise bewerkstelligt.

In den Boden wird ein Schacht gegraben und in denselben ein beiderseits offener, 110 cm hoher Zinkzylinder von 45 cm Durchmesser, (CC auf Tafel I der Figur 1) so eingesetzt, daß der obere Rand des Zylinders mit dem gewachsenen Boden bündig ist. An der Außenwand des Zylinders wird die ausgehobene Erde wieder festgestampft, so daß am eingegrabenen Ende desselben im Innern eine dem Querschnitt des Blechzylinders entsprechende Bodenfläche von 1590 cm^2 freiliegt und mit der Freiluft kommuniziert. Diese Fläche kommt als Austrittsfläche für die den Boden verlassende Emanation in Betracht. Die Verteilung der Emanation im Zylinderraum wird durch das Einhängen des später zu beschreibenden Kondensators nicht gestört.

Diese aus dem freiliegenden Teile der Erdsubstanz in den Raum eintretende Emanation ist der Hauptionisator der im Zylinder befindlichen Luft. Außerdem wirken in dem Zylinderraum noch ionenbildend die direkten Bequerelstrahlungen, die von der am Boden der Einsenkung freiliegenden Erdsubstanz einerseits, andererseits von dem Materiale der Meßanordnung und der Auskleidung der Einsenkung ausgehen. Ferner wird noch als Ionisator jene durchdringende Strahlung zu nennen sein, welche sich überall in der Nähe der Erdoberfläche geltend macht und auch in völlig abgeschlossenen Räumen zur Ionenbildung führt.

Um den eigentlichen Meßraum dem Felde der Erde vollständig zu entziehen, wird die Bodenöffnung nach Einhängen der Kondensatoranordnung mit einem Blechdeckel DD bis auf wenige kleine Öffnungen abgedeckt.

3. Beobachtungsstellen.

Messungen der aus dem Erdboden emporquellenden Emanation wurden an drei verschiedenen Orten angestellt.

1. In Zusmarshausen, einem Marktflecken im Regierungsbezirke Schwaben und Neuburg, 470 m über dem Meere gelegen. Die Oberflächengestaltung der Gegend fällt in die Alluvialzeit. Mäßige Erhebungen aus Kiesgerölle und Sand bilden die Umrahmung zahlreicher Flußläufe.

Die Beobachtungsstelle selbst lag im Garten des isoliert stehenden Anwesens meiner Eltern. Eine 50 cm starke Humusdecke lagert auf einer rotbraunen Sandschicht. In einer Tiefe von 8 m folgt eine Lettenschicht.

2. In München, 520 m über dem Meere. Die Beobachtungsstelle A liegt zwischen zwei nach Westen vorspringenden Flügeln des von Süden nach Norden orientierten Hauptbaues der technischen Hochschule. Die Stelle ist dieselbe, an der auch H. Ebert und P. Ewers[1]) die Bodenluft für ihre Untersuchungen über die dem Erdboden entstammende radioaktive Emanation entnahmen.

3. Eine zweite Beobachtungsstelle ist in München in dem zur Vergrößerung der technischen Hochschule angekauften Ostermaier-Garten errichtet: Beobachtungsstelle München B. Der Platz liegt zwischen dem Gartenhaus und dem chemischen Institute und ist überdacht von mächtigen Bäumen.

Die beiden letztgenannten Beobachtungsstellen besitzen die bekannte Münchener Untergrundstruktur: Eine nur wenige Zentimeter starke Humusschicht überdeckt

---

1) H. Ebert und P. Ewers, Phys. Zeitschrift IV, S. 162—166, 1902 und H. Ebert, Sitzungsber. der math.-phys. Klasse der k. b. Akademie der Wiss. Bd. XXXIII, H. 1, S. 133—168, 1903.

eine mächtige Geröllschicht, die das ganze Aufstauungsgebiet der Isar charakterisiert.

An allen drei Beobachtungsorten wurde über der Bodeneinsenkung eine genügend geräumige Bretterhütte errichtet, die die untergebrachten Instrumente vor den Niederschlägen schützte und doch eine freie Luftkommunikation gestattete.

Die Hütte an dem unter 3. genannten Beobachtungsorte, wo die Registrierungen vorgenommen wurden, war lichtdicht gebaut. Der Eintritt in die Hütte geschieht durch eine kleine Vorhalle, die gegen den Beobachtungsraum durch einen schwarzen Vorhang abgeschlossen ist. Der Beobachtungsraum selbst hat zwei gegenüberliegende Fensteröffnungen, die durch Jalousieläden verschlossen werden können. Zur besseren Lüftung ist auf das Dach der Hütte eine Laterne mit Jalousieläden aufgesetzt.

4. Aktivität der Bodenkonstituenten.

Das Bodenmaterial der drei Beobachtungsstellen wurde nach der Elster und Geitelschen Methode[1]) mit dem von den beiden Forschern eingeführten Apparate zur Bestimmung der Radioaktivität von Bodenproben und Quellsedimenten auf seine Aktivität untersucht. Die Bodenprobe wurde jeweils aus der Einsenkung emporgeholt, getrocknet und in Quantitäten von je 125 gr zur Untersuchung in den Apparat gebracht.

Es ergab sich, daß die Münchener Erde beider Beobachtungsstellen einen stündlichen Spannungsverlust verursacht von 7,2 Volt, während die der Zusmarshausener Beobachtungsstelle entnommene Bodenprobe nur einen stündlichen Spannungsverlust von 6,5 Volt hervorbringt.

Nach den von J. Elster und H. Geitel[2]) mitge-

1) J. Elster und H. Geitel, Zeitschrift für Instrumentenkunde, XXIV Jahrg., S. 193—201, 1904.

2) J. Elster und H. Geitel, Phys. Zeitschrift V, S. 1—5, 1905.

teilten Resultaten bewirkt Ackererde von Wolfenbüttel einen stündlichen Spannungsverlust von 6,8 bis 10,4 Volt. Die von Münchener und Zusmarshausener Erde verursachten Spannungsverluste gruppieren sich also um den niedrigsten Wert des dort gefundenen Spannungsabfalles.

B. Instrumentarium und Methode.

1. Das Elektrometer.

Bei den anzustellenden Messungen war es von großem Vorteile, ein Meßinstrument von hoher Empfindlichkeit und möglichst geringer eigener Kapazität zu verwenden, das zudem die Fähigkeit hat, den meist sehr rasch aufeinander folgenden Änderungen der zu messenden Größe möglichst aperiodisch zu folgen. Diesen Zweck zu erreichen wurde nach Angaben von Herrn Professor Dr. H. Ebert von dem Institutsmechaniker K. Hörtensteiner ein Quadrantelektrometer gebaut, dessen nähere Beschreibung H. Ebert[1]) in der „Zeitschrift für Instrumentenkunde“ veröffentlicht hat.

Benützt wurde das Quadrantelektrometer stets in der Quadrantschaltung: Ein Quadrantenpaar ist ständig zur Erde abgeleitet, an das andere ist die zu messende Spannung angelegt. Die Nadel ist durch eine Hilfsbatterie — es wurde eine Akkumulatorenbatterie von 100 Zellen benützt, — dauernd geladen.

Das Elektrometer hat bei einer Nadelladung von 100 Volt eine Empfindlichkeit von 113 Skalenteilen für eine Quadrantladung von 1 Volt bei 1,5 m Abstand der Skala. Die Kapazität des Instrumentes, nach der Methode von F. Harms[2]) bestimmt, ist 17,3 cm. Die Nadel

1) H. Ebert, Zeitschrift für Instrumentenkunde, XXIX. Jahrg., S. 169—178, 1909.

2) F. Harms, Phys. Zeitschrift V, S. 47, 1904.

überschwingt den Einstellungspunkt nach beiden Seiten nur einmal, bis sie zur Ruhe kommt.

Bei allen Messungen und als Registrierinstrument hat sich das Elektrometer sehr gut bewährt. Namentlich hervorzuheben ist noch die Konstanz des Nullpunktes, die das Instrument zu Registrierungen besonders geeignet macht.

Als Erdleitung diente sowohl für das Elektrometer wie für alle anderen an Erde anzuschließenden Apparatteile eine Drahtverbindung mit der Hochdruckwasserleitung.

2. Versuchsanordnung bei den Messungen.

Der bei den Messungen verwendete Kondensator besteht aus zwei konnaxialen Weißblechzylindern Z_1 und Z_2. [Tafel I, Figur 1.] Der innere Zylinder ist beiderseits mit aufgelöteten Weißblechdeckeln verschlossen und hat eine Höhe von 80 cm und einen Durchmesser von 8 cm. Der äußere Zylinder ist 100 cm hoch und 12 cm weit. Über die beiden offenen Enden desselben sind Drahtnetze von 1 mm Maschenweite gelötet.

Der äußere Zylinder ist unter Zwischenschaltung je eines Elster-Geitelschen Isolationshackens in der verbesserten Form von H. Schering[1]) [Tafel I, Figur 2] und einer Spannschraube an 3 im Fußboden eingelassenen eisernen Trägern aufgehängt. In demselben hängt zentrisch der mit einem Isolationshacken an einem niedrigen, eisernen Dreifuß eingehängte Innenzylinder so, daß seine Deckflächen von den Drahtnetzen des Außenzylinders beiderseits um 10 cm abstehen.

Der zwischen den beiden Zylindern abgeschlossene Raum, der eigentliche Meßraum, hat 7285 cm^3 Inhalt.

Der Außenzylinder ist mit einem Pol einer von der

1) H. Schering, Phys. Zeitschrift V, S. 15, 1904.

Firma Bornhäuser, Ilmenau bezogenen Akkumulatorenbatterie von 240 Volt verbunden und kann durch einen Zellenschalter auf beliebige bis zu dieser Grenze reichende Spannungen geladen werden.

Vom Innenzylinder führt durch ein in das Deckdrahtnetz des Außenzylinders geschnittenes Loch ein in Höhe des Elektrometers rechtwinklig umgebogener Messingdraht als Verbindung zum Elektrometer. Um jede störende Influenzwirkung auf diesen Zuleitungsdraht unmöglich zu machen, verläuft derselbe in einer geerdeten Messingschutzhülse. Der wagrecht verlaufende Teil der Zuleitung wird getragen durch einen geriefelten Hartgummiisolator I, der in ein Kästchen K eingebaut ist. Zur Trocknung der im Kästchen befindlichen Luft dient eine am Boden desselben eingesetzte Natriumtrocknung.

An den im Kästchen verlaufenden Teil der Zuleitung ist ein Eisennäpfchen angelötet, das Quecksilber enthält. Ein amalgamierter und mit der Erde verbundener Kupferstift S durchsetzt den Deckel des Kästchens und verbindet beim Eintauchen in den Quecksilbernapf den Innenzylinder und das daran angeschlossene Quadrantenpaar mit der Erde. Bedient wird dieser Erdschlüssel durch einen Schnurlauf vom Platze des Beobachters aus.

Das Quadrantelektrometer steht auf einem 1 m hohen eisernen Dreifuß mit schwerer Tischplatte, an die zur Erhöhung der Standfestigkeit ein 10 kg schweres Gewicht angehängt ist.

Die Kapazität der gesamten Anordnung wurde wiederholt nach der Harmsschen Methode bestimmt. Der Mittelwert aller Messungen ist 125,9 cm. Davon treffen 17,3 cm auf das Elektrometer, $\frac{l}{2 \lg \frac{R}{r}} = 98{,}8$ cm auf den Zylinderkondensator, der Rest auf die Zuleitung.

Beobachtet wurde mit Fernrohr und Skala in einem Abstande von 1,5 m vom Spiegel des Elektrometers aus.

3. Mefsmethode.

Die jeweils in dem Kondensatorraume in der Zeiteinheit gebildete Ionenzahl wird auf folgende Weise bestimmt:

Die Elektrometernadel wird aus der Hochspannungsbatterie auf 100 Volt geladen, beide Quadrantenpaare sind geerdet. Der äußere Zylinder des Meßkondensators wird an den einen Pol der Bornhäuserbatterie angelegt und auf 240 Volt geladen. (In Zusmarshausen wurden 2 Calomelbatterien zu je 100 Elementen verwendet.)

Löst man jetzt durch Aufziehen des Erdschlüssels die Verbindung mit der Erde, so lädt sich das isolierte System auf, die Elektrometernadel wandert. Da das Meßinstrument gut gedämpft ist, so ist der in einer bestimmten Zeit erreichte Ausschlag der Nadel ein Maß für die im Meßkondensator in dieser Zeit gebildete Ionenzahl, da außerhalb des Meßkondensators gebildete Ionen infolge der Feldwirkung des geladenen Außenzylinders nicht in den Raum gelangen können, wohl aber die elektrisch neutrale, ionenbildende Emanation durch das Drahtnetz eindringen kann.

Dabei ist noch vorausgesetzt, daß wirklich alle Ionen eines Vorzeichens, die in den Raum gebildet werden, auf dem Innenzylinder niedergeschlagen werden, d. h., daß Sättigungsstrom herrscht und daß die Beobachtungszeit lang genug gewählt ist, um auch den den elektrischen Kräften nur langsam folgenden Molionen Zeit zu gewähren, den Zwischenraum zwischen äußerem und innerem Zylinder zu passieren.

Das Vorhandensein des Sättigungsstromes im Zylinderkondensator wurde oft geprüft und zwar in der Weise,

daß an den Außenzylinder 10, 20, 30 u. s. f. Volt angelegt wurden und die Aufladung des isolierten Systems mit der Zeit gemessen wurde. Beobachtungen des Sättigungsstromes, die zu einer Tageszeit angestellt wurden, zu der eine Änderung der Ionenzahl während der Meßdauer nicht zu befürchten ist, zeigen das typische Bild der Sättigungsstromkurve.

Als Beobachtungsdauer wurden 5 Minuten gewählt. Diese Zeit ist hinlänglich groß, um alle Ionen eines Vorzeichens von der Wand des äußeren Zylinders auf den Innenzylinder gelangen zu lassen.

Ist nämlich a der Abstand eines Ions von der gemeinsamen Zylinderaxe und $F = \frac{1}{a} \cdot \frac{V}{\lg \frac{R}{r}}$ die elektrische Feldkraft, die auf dieses Ion einwirkt, [V ist die Spannungsdifferenz zwischen äußerem und innerem Zylinder, R der Radius des äußeren, r der Radius des inneren Zylinders], so ist die Geschwindigkeit, mit der sich das Ion unter dem Einfluß dieser Feldkraft bewegt:

$$-\frac{da}{dt} = u \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{V}{\lg \frac{R}{r}}$$

wo u die absolute Geschwindigkeit des Ions unter der Feldkraft 1 bedeutet.

Daraus ergibt sich:

$$-\frac{a^2}{2} + c = u \cdot \frac{V}{\lg \frac{R}{r}} \cdot t \cdot$$

Nun sei zur Zeit $t = 0$ $a = R$ und zur Zeit $t = T$ $a = r$, dann ist:

$$\frac{1}{2}(R^2 - r^2) = u \cdot \frac{V}{\lg \frac{R}{r}} \cdot T,$$

wo

$$T = \frac{1}{2} \frac{(R^2 - r^2)\ \lg \frac{R}{r}}{u \cdot V}$$

die Zeit ist, die ein Ion braucht, um den Abstand der beiden Zylindermäntel zurückzulegen.

Nun ist nach J. Zeleny[1]) $u = 1{,}5 \frac{cm^2}{Volt\,sec.}$ im Mittel für gewöhnliche Ionen in atmosphärischer Luft, nach M. P. Langevin[2]) $u' = \frac{1}{3000} \frac{cm^2}{Volt.\,sec}$ für molisierte Ionen, so daß sich für die Zeit, die ein Ion der beiden Arten zum Zurücklegen des Abstandes beider Zylinder benötigt, ergibt:

1. für gewöhnliche Ionen: $T = 0{,}011$ sec.
2. für Molionen: $T' = 50$ sec.

Es kann also mit Sicherheit behauptet werden, daß bei einer Beobachtungsdauer von 5 Minuten alle in 5 Minuten im Kondensatorraum gebildeten Ionen eingefangen werden.

Jeder Beobachtungswert ist das Resultat von mindestens 2 Beobachtungen zu je 5 Minuten. Da die im Kondensatorraum gebildete Ionenzahl mit der Zeit sehr rasch wechselt, glaube ich, durch die meist mehrmalige Wiederholung der Messung der zu der betreffenden Zeit wirklich in der Zeiteinheit im cm^3 gebildeten Ionenzahl im Mittel möglichst nahe gekommen zu sein.

Jede Doppelmessung wurde in der Form ausgeführt, daß der äußere Zylinder einmal positiv und einmal negativ geladen wurde. Dieses Wechseln in der Zylinderladung sollte den Zweck haben, einen etwaigen Einfluß der bei negativer Ladung des Außenzylinders auf dem-

1) J. Zeleny, Phil. Trans. A. 195, S. 193. 1900.
2) M. P. Langevin, Soc. franç. de Phys. 219, S. 4—7, 1904.

selben niedergeschlagenen Induktionen aufzudecken. Die Zusammenstellung der bei positiver Zylinderladung erhaltenen Resultate mit den bei negativer Ladung erhaltenen Werten läßt jedoch keinerlei Einfluß erkennen.

Das Beobachtungsjournal wurde in folgender Form geführt:

13. Januar 1906. 11—12^{h} a. Bewölkt, Tauwetter.

Beginn der Messung	Zylinderladung	0 min.	1 min.	2 min.	3 min.	4 min.	5 min.	Gesamtausschlag	Isolations-Korrektur	Ionen pro cm^3 u. sec.
11^{40} a.	—240 V.	385,5	376,2	364,5	355,1	344,2	334,0	51,5	+ 1,0	264
11^{47} a.	+240 V.	385,6	395,1	406,2	418,7	426,7	437,3	51,7	+ 1,0	
11^{53} a.	—240 V.	385,5	377,1	365,2	354,8	342,9	333,3	52,2	+ 1,0	

Die Zahlen in den Spalten 3 mit 10 bedeuten Skalenteile.

Aus sämtlichen innerhalb einer Stunde angestellten Messungen wird das Mittel gebildet und dieses der Berechnung der zu dieser Stunde im cm^3 pro sec. gebildeten Ionenzahl zugrunde gelegt.

Als Beispiel einer solchen Berechnung sei die Beobachtung vom 13. Januar 1906, 11—12^{h} a. durchgerechnet.

Die Empfindlichkeit des Elektrometers ist 113 Skalenteile für 1 Volt. Dann ist die auf dem System nach 5 Minuten Beobachtungsdauer angesammelte Elektrizitätsmenge:

$$E = \frac{51{,}8 \cdot 125{,}9}{113 \cdot 300} = 0{,}196 \text{ cm}^{3/2}, \text{ g}^{1/2}, \text{ sec.}^{-1}.$$

In 1 sec. ist dann in 1 cm^3 in Form von Ionen eine Elektrizitätsmenge gebildet worden von

$$\frac{0{,}196 \text{ el} \cdot \text{st} \cdot E}{300 \cdot 7285} = 8{,}97 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec.}^{-1};$$

Nimmt man nun nach J. J. Thomson[1]) die Ladung eines Ions zu $3{,}4 \cdot 10^{-10}$ cm $^{\frac{1}{2}}$ g $^{\frac{1}{2}}$ sec.$^{-1}$ an, so ergibt sich, daß in 1 cm^3 in 1 sec.

$$\frac{8{,}97 \cdot 10^{-8}}{3{,}4 \cdot 10^{-10}} = 264 \text{ Ionen}$$

gebildet wurden.

Als Korrektur wäre eigentlich an jedem Meßresultate die Potentialdifferenz anzubringen, die zwischen den beiden Weißblechzylindern besteht[2]). Nach vielfachen Bestimmungen stellt sich, trotzdem die beiden Zylinder in verhältnismäßig gut leitender Luft hängen, in 5 Minuten nur eine Potentialdifferenz von $+$ 0,01 Volt ein, eine Größe, die innerhalb der Beobachtungsfehler liegt und daher vernachlässigt werden kann und dies umsomehr, als sich der Fehler bei Mittelbildung aus zwei Messungen mit entgegengesetzter Zylinderladung hinaushebt.

Nicht zu vernachlässigen ist dagegen die Korrektur, die infolge von Verlusten über Isolationsteile entsteht. Im Großen und Ganzen hat sich zwar im Verlaufe der Messungen gezeigt, daß Hartgummi mit eingedrehten Nuten, durch metallisches Natrium trocken gehalten, einen ausgezeichneten Isolator darstellt. Trotzdem war, an Tagen mit großer Luftfeuchtigkeit und an Nebeltagen namentlich, immerhin ein merklicher Isolationsverlust vorhanden. Die Größe desselben schwankt zwischen 0 und 0,12 Volt für 5 Min. und wurde häufig, namentlich an feuchten Tagen bestimmt und zu dem nach 5 Minuten erhaltenen Ausschlag addiert.

Die Messungen erfolgten in der Zeit vom 27. März bis 6. Mai 1905 in Zusmarshausen, und in der Zeit vom 20. Dezember 1905 bis 20. April 1906 in München.

---

1) J. J. Thomson, Phil. Mag. (6) 5, S. 346, 1904.

2) Vgl. H. Ebert, Phys. Zeitschrift V, S. 135—140, 1904 und Jahrb. d. Rad. u. El., Bd. III, S. 79 und 80, 1906.

Auf Zusmarshausen treffen 364 Doppelmessungen, auf München 555.

4. Versuchsanordnung zur Registrierung.

Die Registrierung geschieht auf photographischem Wege. Das durch einen Spalt ausgeblendete Licht einer einfadigen, zylindrischen Glühlampe wird vom Elektrometerspiegel unter Zwischenschaltung einer Linse auf einen Streifen lichtempfindlichen Papieres geworfen. Als solches wurde N. P. G.-Papier vom Formate 18/24 verwendet. Das Papier wird auf eine Trommel von 24 cm Umfang aufgewickelt und durch Stahlfedern festgehalten. Die Trommel wird durch ein Uhrwerk in 24 Stunden ein Mal umgedreht. Trommel und Uhrwerk sind in einen innen geschwärzten Kasten K [Tafel II] eingebaut, der dem Quadrantelektrometer zugekehrt in der Höhe der Trommelaxe einen wagrechten Spalt frei läßt. Das Ganze ist auf ein Grundbrett montiert, auf dem außerhalb des Kastens die Fingerlampe lotrecht aufgestellt ist.

Der Registrierkasten steht auf einem Betonsockel B_1, der 54 cm, vom Fußboden aus gemessen, hoch ist. Auf einem gleichhohen Sockel B_2 steht auch das Quadrantelektrometer. Beide Sockel sind, um eine Erschütterung des Fußbodens nicht auf die Instrumente zu übertragen, vom Fußboden durch einen Zwischenraum getrennt und bis zu einer Tiefe von 50 cm vollständig freistehend, im Boden fundiert.

Quadrantelektrometer und Zylinderkondensator sind dieselben, wie sie bei den Messungen verwendet wurden. Der wagrecht verlaufende Teil der Verbindung zwischen beiden enthält außer dem bereits bei den Messungen verwendeten Erdschlüssel ein zweites Kästchen T, in dem eine Vorrichtung zur Trennung von Elektrometer und Kondensator angebracht ist: Ein Kupferbügel U stellt die Verbindung her zwischen zwei an die Zuleitung an-

gelöteten Quecksilbernäpfchen. Mittels eines geführten Hartgummibügels, der während der Messung den Kupferbügel nicht berührt, kann der Kupferbügel isoliert durch Zug an einem Schnurlauf aus dem Näpfchen gehoben werden und das Isolationsvermögen des Elektrometers und des Zylinderkondensators je für sich geprüft werden.

An die Zuleitung ist außerdem noch der im folgenden näher zu beschreibende Nebenschluß mit der Erde angeschlossen, N.

5. Der Nebenschluſs.

Um mit dem Quadrantelektrometer eine kontinuierliche Registrierung des Ionenstromes zu erhalten, den die aus dem Boden kommende Emanationsmenge zu unterhalten vermag, wurde die von H. L. Bronson[1]) angegebene Methode der konstanten Ausschläge angewendet:

Statt nach jeder Messung die Elektrometernadel durch Entladung der Meßquadranten auf die Nullstellung zurückzuführen, wird der auf dem Innenzylinder dauernd aufgesammelten Elektrizitätsmenge ein Abfluß geschaffen in der Weise, daß die abfließende Elektrizitätsmenge proportional der erreichten Spannung ist. Dieser Abfluß geschieht durch einen sehr großen Widerstand, durch den der Prüfungszylinder mit seinem isolierten Quadrantenpaar in Nebenschluß zur Erde gebracht wird. Der im Prüfungsgefäß vorhandene Ionisationsstrom lädt dann das System so lange auf, bis der Entladungsstrom durch den sehr großen Widerstand gleich dem Ionisationsstrom ist. Dann ist die Stromstärke dem Potentiale des Quadrantenpaares, das heißt also der Ablenkung der Elektrometernadel und damit der im Prüfungsgefäß in der Zeiteinheit gebildeten Ionenzahl proportional.

1) H. L. Bronson, Amer. Journal of Science, 19, S. 185—187, 1905. —

Ein Widerstand, der diesen Dienst leisten soll, muß folgende Bedingungen erfüllen:

1. Er muß sehr groß sein.
2. Er muß innerhalb des Meßbereiches das Ohmsche Gesetz befolgen.
3. Er muß von der Temperatur unabhängig sein.
4. Er muß während der Meßdauer konstant sein.

Diese Bedingungen insgesamt erfüllt keiner der bekannten großen Widerstände, wie Flüssigkeitswiderstände aus Xylol, Amylalkohol, Toluol, oder Kohlenwiderstände, Graphit auf Glas u. s. w. Auch die von Ch. Nordmann[1]) vorgeschlagene Methode, durch einen Wassertropfapparat, der mit dem isolierten Quadrantenpaar leitend verbunden ist, die aufgesammelte Elektrizitätsmenge zu verteilen, läßt mehrfache, gravierende Einwendungen zu.

Zum Ziele gelangt man durch Verwendung eines Leiters, dem man passend den Namen Luftwiderstand geben kann. Durch ein radioaktives Präparat wird die Luft zwischen einer geerdeten Platte und einer isolierten und mit dem Meßkondensator verbundenen Platte leitend gemacht, so daß zwischen den beiden Platten ein Strom fließt, der der Potentialdifferenz derselben proportional ist.

Ich stellte mir einen solchen Luftwiderstand in folgender Form her:

Als radioaktive Materie wurde nach vergeblichen Versuchen mit verschiedenen Mengen von Urannitrat ein nach Marckwald[2]) mit Radiotellur (Polonium) belegter Kupferblechstreifen verwendet, der von Herrn Professor Dr. Giesel in Braunschweig unserem Institute freundlichst zur Verfügung gestellt wurde. Da

1) Ch. Nordmann, Compt. rend. 138, S. 1418 und 1596, 1904 und 140, S. 430, 1905.

2) W. Marckwald, Phys. Zeitschrift IV, S. 51, 1903.

das Polonium keine Emanation abgibt und auch keine β- und γ-Strahlen aussendet, kann es, ohne Störungen befürchten zu müssen, bei luftelektrischen Messungen benützt werden.

Dieses polonisierte Kupferstäbchen (vgl. Tafel II, P.) liegt in einem oben offenen Bleikästchen, das auf dem Boden einer geerdeten Messingschutzhülse aufliegt. Um Kontaktpotentialdifferenzen im Nebenschlußwiderstande zu vermeiden, ist das Präparat mit einem Messingdrahtnetze von 0,5 mm Maschenweite überdeckt. Dem Präparate gegenübar steht eine mit dem Quadrantelektrometer verbundene Messingplatte N. Der Stiel derselben ist zügig verschiebbar in einem geriefelten Hartgummiisolator, der durch zwei an seiner Messingschutzhülse angebrachte Behälter mit Natrium trocken gehalten wird. Die Verbindung mit dem Quadrantelektrometer verläuft zum Schutze gegen Influenzwirkungen in einer Messingröhre.

Der Abstand der isolierten Messingplatte von dem geerdeten Poloniumpräparate ist so einzustellen, daß die Nadelstellungen bei den Änderungen des Emanationsgehaltes der Bodenluft innerhalb der durch die Breite des photographischen Papieres gegebenen Grenzen bleiben. Als für alle Fälle ausreichend wurde ein Plattenabstand von 45 mm befunden.

Dieser Nebenschlußwiderstand erfüllt die weiter oben aufgestellten Bedingungen.

Zur Prüfung derselben wurde das ganze System, Zylinderkondensator mit Zuleitungen, Elektrometer und Nebenschluß, im Laboratorium in derselben Weise zusammengebaut, wie es im Freien verwendet wurde. Der äußere Zylinder wurde zur Erde abgeleitet und der Innenzylinder mit Quadrantenpaar und Nebenschluß auf 6 Volt geladen. Das Abklingen dieser Ladung wurde in Zeitintervallen von 1 Minute beobachtet. Die durch die graphisch aufgetragenen Beobachtungswerte bestimmte

Abklingungskurve der aufgebrachten Ladung befolgt ein Exponentialgesetz und gestattet den Widerstand der Poloniumzelle zu bestimmen.

Die Empfindlichkeit des Elektrometers war für alle Registrierungen 63,6 Skalenteile für 1 Volt Quadrantladung. Sucht man nun in der Abklingungskurve diesen Wert auf und entnimmt ihr die 15 sec. vor und 15 sec. nach Erreichen von 1 Volt statthabenden Ordinatenwerte zu 68,6 bezw. 58,6 Skalenteilen, so ergibt sich, daß in 30 sec. eine Änderung der Quadrantladung entsprechend 10 Skalenteilen eingetreten ist. Das zwischen den beiden Ordinatenwerten liegende Stück der Abklingungskurve kann man als geradlinig ansehen, so daß diese Änderung erfolgt bei einem mittleren Quadrantenpotential von

$$1 \text{ Volt} = \frac{1}{300} \text{ cm}^{1/2} \text{ gr}^{1/2} \text{ sec.}^{-1}.$$

Nun ist die Kapazität der Anordnung mit Nebenschluß ohne Polonium 126 cm. Es ergibt sich also als Stromstärke bei der Spannung 1 Volt:

$$i = \frac{dE}{dt} = \frac{10 \cdot 126 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec.}^{-1}}{63{,}6 \cdot 30 \text{ sec} \cdot 300} =$$

$$= 0{,}0022 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec.}^{-2}.$$

Nach dem Ohmschen Gesetze, dessen Gültigkeit im folgenden bewiesen wird, ist dann:

$$i = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{a} \cdot V \text{ oder}$$

$$0{,}0022 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec.}^{-2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{300} \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec.}^{-1};$$

$$\frac{1}{a} = 0{,}66 \text{ cm sec.}^{-1};$$

$$a = 1{,}5 \text{ cm}^{-1} \text{ sec.}$$

a hat die Dimension eines elektrostatisch gemessenen Widerstandes. In Ohm läßt sich derselbe ausdrücken:

$$1\ \text{Ohm} = \frac{1}{9} \cdot 10^{-11}\ \text{cm}^{-1}\ \text{sec.}$$

$$a = 1{,}5 \cdot 9 \cdot 10^{11} = 1{,}35 \cdot 10^{12}\ \text{Ohm.}$$

Bei einem Plattenabstand von 45 mm hat die Poloniumzelle einen Widerstand von $1{,}35 \cdot 10^{12}$ Ohm. Diese Widerstandsbestimmung wurde gemacht, während die Poloniumzelle von einem Eismantel umgeben war, also die Temperatur 0° hatte. Es wird im folgenden gezeigt werden, daß die Temperaturangabe bei Angabe des Widerstandes notwendig ist. —

Aus der Abklingungskurve einer erteilten Ladung kann auch die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes nachgewiesen werden. Das Ohmsche Gesetz sagt aus: der Abschluß von Elektrizitätsmenge durch den Widerstand, d. i. die Stromstärke, ist proportional dem Potentiale V, auf dem sich das System befindet:

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{1}{a} \cdot V.$$

Nun ist: $V = \frac{E}{C}$, wo C die Kapazität des Systems darstellt. Daraus

$$-\frac{dE}{E} = \frac{1}{a \cdot C} \cdot dt \cdot \text{und}$$

$$\lg E = -\frac{1}{a \cdot C} \cdot t + \text{const.}$$

Die Integrationskonstante ist bestimmt durch die Annahme, daß zur Zeit $t = 0$, $E = E_0$ ist.

$$\lg E_0 = \text{const.}$$

Es ist also E zu einer beliebigen Zeit t:

$$E_t = E_0 \cdot e^{-\frac{1}{a \cdot C} \cdot t}$$

und E zur Zeit $(t + T)$, wo T ein beliebiges Zeitintervall in sec. bedeutet:

$$E_{(t+T)} = E_0 \cdot e^{-\frac{1}{a \cdot C}(t+T)}$$

so daß der Quotient besteht:

$$E\frac{E_t}{(t+T)} = \frac{e^{-\frac{1}{a \cdot C} \cdot t}}{e^{-\frac{1}{a \cdot C}(t+T)}} = e^{\frac{1}{a \cdot C} \cdot T}$$

das heißt, daß bei Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes die nach gleichen Zeitabschnitten auf dem System noch vorhandenen Elektrizitätsmengen in einem konstanten Verhältnis zu einander stehen müssen.

Nimmt man T = 1 Minute = 60 Sekunden, so muß dieses Verhältnis sein:

$$\frac{E_t}{E_{(t+60\,\text{sec.})}} = e^{\frac{0{,}66\,\text{cm sec.}^{-1} \cdot 60\,\text{sec.}}{126\,\text{cm}}} = 1{,}300.$$

In der folgenden Tabelle 1 sind in der zweiten Spalte die aus der Abklingungskurve entnommenen Ordinatenwerte in Abständen von je 1 Minute eingetragen, in der dritten Spalte die daraus berechneten Elektrizitätsmengen und in der vierten die Verhältnisse je zweier aufeinander folgender Elektrizitätsmengen.

Tabelle 1.

Zeit in Minuten	Ordinatenwert aus der Abkl.-Kurve	E ($cm^{3/2} g^{1/2} sec^{-1}$)	$\frac{E_t}{E_{(t+60\,s.)}}$	Zeit in Minuten	Ordinatenwert aus der Abkl.-Kurve	E ($cm^{3/2} g^{1/2} sec.^{-1}$)	$\frac{E^t}{E_{(t+60\,s.)}}$
0	377	2,492	—	10	27	0,178	1,300
1	289	1,910	1,304	11	20,7	0,137	1,300
2	221	1,461	1,307	12	16	0,106	1,293
3	169	1,117	1,307	13	12,3	0,0813	1,301
4	130	0,859	1,300	14	9,4	0,0621	1,309
5	100	0,661	1,300	15	7,2	0,0476	1,305
6	77	0,509	1,299	16	5,5	0,0364	1,307
7	59	0,390	1,305	17	4,2	0,0280	1,300
8	45,5	0,301	1,296	18	3,2	0,0215	1,302
9	35	0,231	1,303	19	2,5	0,0165	1,303

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß der Nebenschlußwiderstand innerhalb des Verwendungsbereiches das Ohmsche Gesetz tatsächlich recht genau befolgt.

Was die Abhängigkeit des Nebenschlußwiderstandes von der Temperatur anlangt, so ist dabei zu beachten, daß der Widerstand ein „offener“ ist, so daß die durch die Messingschutzhülse abgegrenzte Luftmenge mit der Außenluft kommuniziert. Ist die Aktivität des Präparates auch von der Temperatur unabhängig, so ändert sich doch mit der Temperatur die Dichte der abgegrenzten Luftmenge und damit ihre durch Ionisierung bedingte Leitfähigkeit.

Um nun Schwierigkeiten, die sich aus diesem Grunde bei Berechnung der jeweiligen Stromstärke aus den Aufzeichnungen des Elektrometers ergeben würden, aus dem Wege zu gehen, habe ich den Nebenschlußwiderstand bei allen Registrierungen auf der konstanten Temperatur von 0^0 gehalten.

Zu diesem Zwecke ist die Poloniumzelle in eine passende, wasserdichte Blechumhüllung gesteckt [vgl.

Tafel II.] und mit derselben in Eis eingebaut. Das Eis befindet sich in einem größeren Blechgefäß, das mit Filz umkleidet und oben mit Watte abgedeckt ist. Zum Ablassen des Schmelzwassers ist unten ein Hahn angebracht. Selbst in den heißen Junitagen genügte eine tägliche Erneuerung des Eises.

Durch diesen Eismantel ist der Nebenschlußwiderstand unabhängig von den Temperaturänderungen der Luft.

Die Konstanz des Nebenschlußwiderstandes wurde durch Aufstellung der Abklingungskurve einer aufgebrachten Ladung wiederholt geprüft. Eine Änderung konnte während der 4 Monate Registrierdauer nicht festgestellt werden. Es war dies auch um so mehr zu erwarten, als das Präparat schon einige Jahre alt war und daher seine Aktivität in dem Teil der Aktivitätskurve lag, der asymptotisch zur Zeitachse verläuft.

6. Registriermethode.

Die Aufnahme eines Registrierstreifens gestaltet sich in folgender Weise:

Nach Erneuerung des Eises im Thermostaten des Nebenschlußwiderstandes und Einsetzen des Bromsilberpapieres wird der äußere Zylinder des Kondensators an den positiven Pol der Bornhäuser-Batterie bei 240 Volt-Schaltung angeschlossen, während das isolierte System geerdet ist. Der Basisspiegel des Elektrometers wird so gedreht, daß sein Lichtzeiger mit dem den Nullpunkt des Elektrometers markierenden sich deckt. Nun wird die Erdleitung aufgehoben und dieser Zeitpunkt notiert. In ungefähr 10 Minuten hat der Elektrometerlichtzeiger den durch Zufluß im Kondensator und Abfluß durch den Nebenschluß bedingten stationären Zustand erreicht und folgt jetzt den Änderungen des Ionenstromes im Konden-

Tabelle 1.

Zeit in Minuten	Ordinatenwert aus der Abkl.-Kurve	E ($cm^{3/2} g^{1/2} sec^{-1}$)	$\frac{E_t}{E_{(t+60\,s.)}}$	Zeit in Minuten	Ordinatenwert aus der Abkl.-Kurve	E ($cm^{3/2} g^{1/2} sec.^{-1}$)	$\frac{E^t}{E_{(t+60\,s.)}}$
0	377	2,492	—	10	27	0,178	1,300
1	289	1,910	1,304	11	20,7	0,137	1,300
2	221	1,461	1,307	12	16	0,106	1,293
3	169	1,117	1,307	13	12,3	0,0813	1,301
4	130	0,859	1,300	14	9,4	0,0621	1,309
5	100	0,661	1,300	15	7,2	0,0476	1,305
6	77	0,509	1,299	16	5,5	0,0364	1,307
7	59	0,390	1,305	17	4,2	0,0280	1,300
8	45,5	0,301	1,296	18	3,2	0,0215	1,302
9	35	0,231	1,303	19	2,5	0,0165	1,303

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß der Nebenschlußwiderstand innerhalb des Verwendungsbereiches das Ohmsche Gesetz tatsächlich recht genau befolgt.

Was die Abhängigkeit des Nebenschlußwiderstandes von der Temperatur anlangt, so ist dabei zu beachten, daß der Widerstand ein „offener" ist, so daß die durch die Messingschutzhülse abgegrenzte Luftmenge mit der Außenluft kommuniziert. Ist die Aktivität des Präparates auch von der Temperatur unabhängig, so ändert sich doch mit der Temperatur die Dichte der abgegrenzten Luftmenge und damit ihre durch Ionisierung bedingte Leitfähigkeit.

Um nun Schwierigkeiten, die sich aus diesem Grunde bei Berechnung der jeweiligen Stromstärke aus den Aufzeichnungen des Elektrometers ergeben würden, aus dem Wege zu gehen, habe ich den Nebenschlußwiderstand bei allen Registrierungen auf der konstanten Temperatur von 0° gehalten.

Zu diesem Zwecke ist die Poloniumzelle in eine passende, wasserdichte Blechumhüllung gesteckt [vgl.

Tafel II.] und mit derselben in Eis eingebaut. Das Eis befindet sich in einem größeren Blechgefäß, das mit Filz umkleidet und oben mit Watte abgedeckt ist. Zum Ablassen des Schmelzwassers ist unten ein Hahn angebracht. Selbst in den heißen Junitagen genügte eine tägliche Erneuerung des Eises.

Durch diesen Eismantel ist der Nebenschlußwiderstand unabhängig von den Temperaturänderungen der Luft.

Die Konstanz des Nebenschlußwiderstandes wurde durch Aufstellung der Abklingungskurve einer aufgebrachten Ladung wiederholt geprüft. Eine Änderung konnte während der 4 Monate Registrierdauer nicht festgestellt werden. Es war dies auch um so mehr zu erwarten, als das Präparat schon einige Jahre alt war und daher seine Aktivität in dem Teil der Aktivitätskurve lag, der asymptotisch zur Zeitachse verläuft.

6. Registriermethode.

Die Aufnahme eines Registrierstreifens gestaltet sich in folgender Weise:

Nach Erneuerung des Eises im Thermostaten des Nebenschlußwiderstandes und Einsetzen des Bromsilberpapieres wird der äußere Zylinder des Kondensators an den positiven Pol der Bornhäuser-Batterie bei 240 Volt-Schaltung angeschlossen, während das isolierte System geerdet ist. Der Basisspiegel des Elektrometers wird so gedreht, daß sein Lichtzeiger mit dem den Nullpunkt des Elektrometers markierenden sich deckt. Nun wird die Erdleitung aufgehoben und dieser Zeitpunkt notiert. In ungefähr 10 Minuten hat der Elektrometerlichtzeiger den durch Zufluß im Kondensator und Abfluß durch den Nebenschluß bedingten stationären Zustand erreicht und folgt jetzt den Änderungen des Ionenstromes im Konden-

Diese Stromstärke wird unterhalten durch die im Kondensatorraum in Form von Ionenladung pro sec. zufließende Elektrizitätsmenge, so daß ist:

$$0{,}0022\,\mathrm{cm}^{3/2}\,\mathrm{g}^{1/2}\,\mathrm{sec.}^{-2} = \frac{\text{Ionenzahl} \times 3{,}4 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{cm}^{3/2}\,\mathrm{g}^{1/2}\,\mathrm{sec.}^{-1}}{\text{sec.}}$$

Die Ionenzahl, die im ganzen Kondensatorraum bei 1 Volt Quadrantspannung in 1 Sekunde gebildet wird, ist also:

$$\frac{\text{Ionenzahl}}{\text{sec.}} = \frac{0{,}0022\ \mathrm{cm}^{3/2}\ \mathrm{g}^{1/2}\ \mathrm{sec.}^{-2}}{3{,}4 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{cm}^{3/2}\,\mathrm{g}^{1/2}\,\mathrm{sec.}^{-1}} = 647 \cdot 10^4.$$

In 1 ccm werden dann bei denselben Bedingungen gebildet:

$$\frac{\text{Ionen}}{\text{sec u. cm}^3} = \frac{647 \cdot 10^4}{7285} = 888.$$

Wie schon erwähnt, war die Empfindlichkeit des Elektrometers während der Registrierzeit 63,6 Skalenteile für 1 Volt. Infolgedessen entspricht einem Ausschlag von 1 Skalenteil eine im ccm in der sec. gebildete Ionenzahl von 14 $\frac{\text{Ionen}}{\text{cm}^3 \text{ u. sec.}}$, so daß der aus der Kurve entnommene Ordinatenwert in mm nach Anbringung der durch den jeweiligen Isolationsverlust bedingten Korrektion mit 14 multipliziert die zu der betreffenden Zeit im ccm und in der Sekunde gebildete Ionenzahl liefert. —

Die Registrierungen umfassen die Monate März, April, Mai, Juni 1907.

7. Meteorologische Angaben.

Die im folgenden gegebenen meteorologischen Angaben für die Messungen und Registrierungen in München verdanke ich der Liebenswürdigkeit des Vorstandes der meteorologischen Zentralstation München, des Herrn

Professors Dr. F. Erk. Die Zentralstation ist von der Beobachtungsstelle nur etwa 100 m entfernt, so daß die dort beobachteten Daten als auch für den Beobachtungsort gültig angenommen werden können. Benützt wurden die Aufzeichnungen des Barographen, Thermographen, und Hygrographen, des Sonnenscheinautographen und die Terminsbeobachtungen.

Die Kurven des Potentialgefälles stammen aus dem erdmagnetischen Observatorium München, wo ein Benndorfsches Potentialregistrierinstrument aufgestellt ist. Verwendet wurden zur Aufstellung des täglichen Ganges des Potentialgefälles während der einzelnen Monate nur die Registrierresultate solcher Tage, die als sogen. „normale“ Tage bezeichnet werden können.

Ich will nicht versäumen, sowohl dem Herrn Vorstande der meteorologischen Zentralstation, dem leider vor kurzem verstorbenen Professor Dr. F. Erk, wie dem Herrn Vorstande des erdmagnetischen Observatoriums, Direktor und Professor Dr. J. B. Messerschmitt, auch an dieser Stelle für die Überlassung des Materials meinen Dank auszusprechen.

In Zusmarshausen wurde der Gang des Luftdruckes mittels eines am Meßplatze aufgestellten Sendtnerschen, selbstregistrierenden Barometers bestimmt. Die Temperatur der Luft wurde an einem in der Hütte vor Strahlung geschützt aufgestellten Thermometer abgelesen. Die Windrichtung konnte ich von einer auf einem Nachbarhause befindlichen Windfahne abnehmen, die Windstärke wurde nach der 10teiligen Beaufortschen Landskala aus den Bewegungen der Äste und Zweige eines in der Nähe stehenden Baumes geschätzt.

An beiden Beobachtungsstellen wurde genau Buch geführt über die allgemeine Wetterlage, über Bewölkung, über Niederschlag und was sonst an auffallenden meteorologischen Daten zu verzeichnen war. —

C. Beobachtungsergebnisse.

1. Gesamtmittel und Extremwerte.

Bildet man das Gesamtmittel aus allen zu München durch Messung und Registrierung gefundenen Stundenmitteln, so ergibt sich, daß in 1 ccm des Beobachtungsraumes in 1 Sekunde

306 Ionen (natürlich beiderlei Vorzeichens) gebildet werden.

In dem von H. Mache[1]) eingeführten Maße entspricht dies einer Sättigungsstromstärke von

$$i = \frac{306 \cdot 3{,}4 \cdot 10^{-10} \cdot 10^{6}}{\text{sec.}} = 104 \cdot 10^{-3}$$

elektrostatischen Einheiten pro Kubikmeter, d. h. der Emanationsgehalt von 1 cbm in die freie Atmosphäre übertretender Bodenluft vermag in München einen Sättigungsstrom von 0,104 elektrostatischen Einheiten zu unterhalten.

Der für Zusmarshausen gefundene Wert für die Frühjahrsmonate 1905 ist:

$$82 \cdot 10^{-3} \text{ E. S. E. pro m}^3.$$

Aus dieser für q gefundenen Zahl läßt sich die im Kubikzentimeter austretender Bodenluft enthaltene Ionenzahl n von Ionen eines jeden Vorzeichens berechnen, wenn man annimmt, daß die vorhandene Emanation, die pro sec. im Kubikzentimeter q Ionen bildet, die durch Wiedervereinigung sich neutralisierenden gerade ersetzt, daß also stationärer Zustand herrscht. Dann ist

$$\frac{dn}{dt} = o = q - \alpha n^2.$$

$$n = \sqrt{\frac{q}{\alpha}}.$$

1) H. Mache, Sitzungsber. der Wiener Akad. d. Wiss., Bd. CXIV, 2a, S. 1377—1388, 1905.

Nun ist für den mittleren Luftdruck von München der Wiedervereinigungskoeffizient α für Luft nach T. Retschinsky[1])

$$\alpha = 4080 \cdot 3{,}4 \cdot 10^{-10} = 1{,}4 \cdot 10^{-6}.$$

Daraus ergibt sich dann:

$$n = \sqrt{\frac{306 \cdot 10^6}{1{,}4}} = 14800 \text{ Ionen im ccm.}$$

Für die im Kubikmeter Bodenluft enthaltene Ionenladung beiderlei Vorzeichens berechnen sich hieraus 5 elektrostatische Einheiten.

Interessant ist das Zusammenhalten dieser Zahl mit der Ionenladung, die 1 cbm Freiluft in München besitzt. H. Ebert[2]) findet als Mittelwert seiner mit seinem Aspirator angestellten Messungen, daß die im Kubikmeter Freiluft enthaltene Ionenladung eines Vorzeichens in München 0,5 E. S. E. beträgt. Demnach ist die Ionenladung eines Kubikmeters Bodenluft in München 10 mal größer als die derselben Menge Freiluft.

Da q mit dem Quadrate von n wächst, ergibt sich, daß der Emanationsgehalt der Bodenluft in München 100 mal größer ist als der Emanationsgehalt der Freiluft.

Bereits im Jahre 1904 hat H. Ebert[3]) ein ganz ähnliches Verhältnis zwischen der in Bodenluft und in Freiluft enthaltenen Emanationsmenge feststellen können. Indem er seine Meßresultate für Bodenluft mit den wahrscheinlich etwas zu hohen Ergebnissen vergleicht, die C. T. R. Wilson[4]), E. Rutherford und S. Allen[5]), F. Harms[6]) für Freiluft angeben, kommt er zu dem Schlusse, daß sich die in der Bodenluft enthaltene Ema-

1) T. Retschinsky, Göttinger Inaug.-Diss. 1905.
2) H. Ebert, Phys. Zeitschrift II, S. 662, 1901.
3) H. Ebert, Met. Zeitschrift S. 212—213, 1904.
4) C. T. R. Wilson, Proc. Roy. Soc. Vol. LXVIII, S. 151, 1901.
5) E. Rutherford u. S. Allen, Phys. Zeitschrift III, S. 225, 1902.
6) F. Harms, Phys. Zeitschrift IV, S. 11, 1902.

nation etwa 30 bis 70mal wirksamer erweist, als die in in der freien Atmosphäre vorhandene, ionisierende Ursache.

Ein Vergleich des Emanationsgehaltes der austretenden Bodenluft mit dem Emanationsbetrage der Freiluft, wie er durch Untersuchungen neueren Datums für andere Orte und auf andere Weise bestimmt wurde, liefert ähnliche Verhältniszahlen.

A. S. Eve[1]) bestimmt die Zahl der innerhalb eines großen, 18,7 cbm fassenden Eisenkessels des Engineering Building der Mc Gill-Universität zu Montreal in Canada pro Kubikzentimeter und sec. gebildeten Ionen zu 9,6 im Mittel aus Beobachtungen des Sättigungsstromes, führt aber uns, daß in freier Atmosphäre dieser Betrag nur $^1/_4$ bis $^1/_3$, q also 2,4 bis 3,2, im Mittel also 2,8 Ionen ist. Dies entspricht aber einem Sättigungsstrom pro Kubikmeter von $1 \cdot 10^{-3}$ E. S. E.

R. Hofmann[2]) benützt zur Bestimmung des Emanationsgehaltes der freien Atmosphäre das gute Absorptionsvermögen gekühlten Petroleums für Emanation. Er findet, daß der Emanationsbetrag der Freiluft am Kahlenberge bei Wien einen Sättigungsstrom von $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ E. S. E. pro Kubikmeter zu unterhalten vermag. In dem Keller eines Privathauses zu Wien, in dem die Zerstreuung etwa 3mal so groß war, als im Garten desselben Anwesens, stellte er einen Emanationsgehalt fest, der einem Sättigungsstrom von $12 \cdot 10^{-3}$ E. S. E. pro Kubikmeter entspricht.

Die gefundene Sättigungsstromgröße von $104 \cdot 10^{-3}$ E. S. E., pro Kubikmeter ist das Maß für die aus dem Erdboden wirklich in die Atmosphäre übertretende Emanationsmenge, die, wie die Untersuchungen von H. Brandes[3]) zeigen, den obersten Schichten der Erd-

1) A. S. Eve, Phil. Mag. (6) 10, S. 99, 1905.
2) R. Hofmann, Phys. Zeitschrift VI, S. 340, 1905.
3) H. Brandes, Inaug.-Diss., Kiel 1905.

kruste entstammt; der Emanationsgehalt der in den Erdkapillaren selbst eingeschlossenen Luft muß, namentlich in tieferen Schichten, wesentlich größer sein. Dies zeigen in der Tat die von A. Gockel[1]) angestellten Messungen. Er entnimmt in Freiburg aus einem in den Boden getriebenen Rohre aus 1 m Tiefe Bodenluftproben und untersucht ihren Gehalt an Emanation mit einem Elster-Geitelschen Zerstreuungsapparate. In Mache-Einheiten ausgedrückt erhält er Stromstärken von 200 bis $750 \cdot 10^{-3}$ absoluten Einheiten pro Kubikmeter Bodenluft.

Der gefundene Mittelwert von 306 Ionen pro Kubikzentimeter und sec für München hat als Extremwerte 1400 Ionen pro Kubikzentimeter und sec., eine Zahl die am 26. Februar 1906 als Stundenmittel von $5-6^h$ p festgestellt wurde und 38 Ionen pro Kubikzentimeter und sec., die am 9. Mai 1907 von $9—10^h$ a registriert wurden. Bei der Registrierung traten einigemale Zacken auf, die den durch das Papier gegebenen Grenzwert von 2500 Ionen überschritten. Die Stundenmittel für die betreffende Zeit liegen jedoch unter dem angegebenen Höchstwert.

In Zusmarshausen wurde als höchstes Stundenmittel 1859 Ionen am 4. April 1905 von $7—8^h$ p beobachtet, als niedrigstes 44 Ionen am 16. April von $7—8^h$ a.

Das Verhältnis von Minimum zu Maximum ist für München 1 : 37, für Zusmarshausen 1 : 42.

Das Austreten emanationsreicher Bodenluft ist demnach außerordentlich großen Schwankungen unterworfen, Schwankungen, wie sie der Emanationsgehalt der eingeschlossenen Bodenluft keineswegs aufweist. Ändert sich doch derselbe, wie A. Gockel[2]) berichtet, in 1 m Tiefe nur im Verhältnis 1 : 4.

---

1) A. Gockel, Phys. Zeitschrift IX, S. 304—306, 1908.
2) A. Gockel, Phys. Zeitschrift IX, S. 304, 1908.

Man erkennt, daß die angewandte Methode tatsächlich etwas anderes gibt, als den Gehalt der Bodenluft an Emanation: sie gibt die pro sec. durch die Trennungsschicht: Erdboden — Luftmeer hindurchtretende Emanationsmenge und diese Größe ist nicht allein von dem augenblicklichen Gehalt der Bodenluft an Emanation abhängig, sondern in hervorragender Weise auch von allen pumpenden und saugenden Momenten, welche diese Emanationsmenge in die Atmosphäre hineinführen, außerdem von der Durchlässigkeit des Bodens.

Dabei ist als interessant zu erwähnen, daß zwei so ganz verschieden geartete Beobachtungsstellen doch nur verhältnismäßig geringe Verschiedenheit der Amplituden aufweisen.

2. Monatsmittel.

In der nachstehenden Tabelle 2 sind die Mittelwerte für die einzelnen Beobachtungsmonate eingetragen. Bei den durch Messung ermittelten Zahlen ist die Anzahl der Doppelbeobachtungen angegeben, durch die der Mittelwert gewonnen wurde. Ein eingesetztes R bedeutet, daß der Mittelwert durch Registrierung festgestellt ist.

Tabelle 2.

Monat	Beobachtungsort	Ionenzahl q pro cm^3 u. sec.	Stromstärke pro m^3 in E.S.E.	Zahl der Beob.
März 1905	Zusmarshausen	221	$75 \cdot 10^{-3}$	46
April 1905	„	246	$84 \cdot 10^{-3}$	264
Mai 1905	„	230	$78 \cdot 10^{-3}$	64
Dezember 1905	München A.	235	$80 \cdot 10^{-3}$	32
Januar 1906	„	252	$86 \cdot 10^{-3}$	102
Februar 1906	„	279	$95 \cdot 10^{-3}$	124
März 1906	„	293	$100 \cdot 10^{-3}$	130
März 1907	München B.	314	$107 \cdot 10^{-3}$	R.
April 1907	„	393	$134 \cdot 10^{-3}$	R.
Mai 1907	„	350	$119 \cdot 10^{-3}$	R.
Juni 1907	„	349	$119 \cdot 10^{-3}$	R.

Zunächst ist aus der Tabelle ersichtlich, daß ein lokaler Unterschied in der aus dem Boden austretenden Emanationsmenge vorhanden ist. In Zusmarshausen, dessen Bodenmaterial weniger aktiv ist, als das Münchener, ist auch die im Kubikzentimeter des Beobachtungsraumes in 1 sec. gebildete Ionenzahl geringer als in München.

Ein zahlenmäßiger Vergleich der in München A erhaltenen Winterwerte mit den Frühlingswerten von München B ist nicht zulässig, weil bei den Registrierungen auch die Nachtwerte mit inbegriffen sind, die bei den Messungen fehlen.

Dagegen ist mit Sicherheit zu erkennen, daß die aus dem Erdboden austretende Emanationsmenge von Dezember bis Juni ständig wächst. Die Stetigkeit des Wachstums wird durchbrochen durch den Monat April, der sowohl in den Zusmarshausener Resultaten wie in den von München ein deutliches Maximum für sich aufweist.

Auch bei der Feststellung der in der freien Atmosphäre enthaltenen Emanationsmenge ist ein ähnlicher jährlicher Gang gefunden worden. Auf der Zugspitze, wo J. Jaufmann[1]) die in der freien Atmosphäre enthaltene Emanationsmenge durch Aktivierung eines negativ geladenen Drahtes gemessen hat, wächst die Emanationsmenge ziemlich gleichmäßig von Januar bis August, um dann wieder zu fallen. G. C. Simpson[2]) konstatiert für Karasjok auf Lappland ein nahezu lineares sechsmonatliches Ansteigen von Februar bis August und im Anschluß daran einen ähnlichen sechsmonatlichen Abfall.

Dieses Anwachsen des Emanationsaustrittes bis etwa zur Mitte des Jahres muß sich auch im Gange der elek-

1) J. Jaufmann, Beob. d. met. Stationen im Königreich Bayern, Bd. XXIX, S. C30, 1907.

2) G. C. Simpson, Phys. Zeitschrift VI, S. 270—273, 1905.

trischen Zerstreuung bemerkbar machen, wenn anders die aus dem Boden in die Luft gelangende Emanation als Ionisator der Luft zu betrachten ist. In der Tat weisen auch alle Zerstreuungsreihen einen jährlichen Gang auf, der ein Minimum im Winter und ein Maximum im Sommer hat. Ich erwähne hier P. Czermak[1]), B. Zölß[2]), die Resultate der Ionenzählungen von A. A. Daunderer[3]). Das exklusive Verhalten des Monates April führt E. Mazelle[4]) zu der Annahme einer doppelten jährlichen Periode mit je einem Maximum im April und September und je einem Minimum im Februar und Juni.

3. Täglicher Gang.

Das Austreten der radioaktiven Emanation aus dem Erdboden zeigt einen regelmäßigen, täglichen Gang mit doppelter, täglicher Periode. Das erste Maximum tritt nach Sonnenaufgang auf, das zweite nach Sonnenuntergang. Das Nachtminimum fällt auf die Zeit kurz vor Sonnenaufgang, das Tagminimum in die Nachmittagsstunden. Zwischen Morgen- und Abendmaximum schiebt sich ein deutlich ausgeprägtes, sekundäres Maximum ein um Mittag.

Auf Tafel III sind die Meßresultate der Monate Januar, Februar, März, die zu München gewonnen wurden, und des Monates April, die zu Zusmarshausen festgestellt wurden, zum täglichen Gang für den jeweiligen Monat vereinigt. Tafel IV enthält den durch Registrirung be-

---

1) P. Czermak, Phys. Zeitschrift IV, S. 271, 1903.

2) B. Zölß, Sitzungsber. der Kais. Akad. der Wiss., Wien, Bd. CXIV, 2a, S. 189—331, 1905.

3) A. A. Daunderer, Dissertation der technischen Hochschule München, 1908

4) E. Mazelle, Met. Zeitschrift XXII, S. 179—180, 1905.

stimmten täglichen Gang des Austretens der Emanation während der Monate März, April, Mai, Juni 1907. An der Ordinatenaxe ist die pro sec. im cm^3 des Beobachtungsraumes gebildete Ionenzahl q aufgetragen; die an der Abszissenaxe angebrachten Marken geben die Zeit des mittleren Sonnenaufganges bezw. Sonnenunterganges während des betreffenden Monates an.

Die einzelnen Tageskurven weichen in der Form von den hier gegebenen mittleren Tageskurven für die einzelnen Monate im Großen uud Ganzen nicht viel ab. Selbst bei ganz außergewöhnlichen Wetterlagen bleibt in der Regel der tägliche Gang aus der aufgezeichneten Kurve noch gut erkennbar.

Übersieht man die Diagramme der Tafel III und IV, so erkennt man einen auffallenden Unterschied des täglichen Ganges während der Wintermonate und Sommermonate. Während im März noch das Nachtminimum tief liegt und die Ausbildung desselben sich auf einen beträchtlichen Zeitraum erstreckt, hebt sich dasselbe in den folgenden Monaten und wird infolge des Zusammenrückens des Sonnenunterganges mit dem Sonnenaufgange auf immer kleineren Raum zusammengedrängt, so daß es im Juni nur mehr rudimentär auftritt. Der Anstieg zum Abendmaximum beginnt in den Sommermonaten schon in den ersten Nachmittagsstunden, ist aber weniger steil als in den Wintermonaten.

Aus den angeführten Kurven ist sicher zu erkennen, daß auch für den täglichen Gang des Austretens der Bodenluftemanation zwischen einem Wintertypus und einem Sommertypus zu unterscheiden ist, ähnlich wie A. Gockel[1]), P. Czermak[2]), A. A. Daunderer[3]) einen

1) A. Gockel, Met. Zeitschrift, XXII, S. 97, 1905 und XXIII, S. 53, 1906.

2) P. Czermak, Phys. Zeitschrift IV, S. 271, 1903.

3) A. A. Daunderer, Dissertation der technischen Hochschule München, 1908.

solchen Unterschied in der Ionisierung der Freiluft feststellen konnten.

Auch der in der Freiluft enthaltene Betrag radioaktiver Emanation scheint denselben täglichen Gang zu besitzen, wie ihn der Austritt der Emanation aus dem Erdboden zeigt. Wenigstens drängt sich diese Ansicht auf, wenn man die Kurven in Vergleich zieht, die P. H. Dicke[1]) für die tägliche Variation des in der freien Atmosphäre enthaltenen Betrages an radioaktiver Emanation in Cambridge veröffentlicht. Seine Messungen erstrecken sich über drei Wochen, die in die Monate Juni und Juli fallen. Die aus den Beobachtungsmitteln für die einzelnen Stunden aufgestellte Kurve zeigt bis ins Detail die Form des täglichen Ganges bei uns im Monate Juni.

Aus den Resultaten der Zerstreuungsmessungen und Ionenzählungen läßt sich vielfach der tägliche Gang des Austretens der Emanation erkennen. So berichtet E. Ritter v. Schweidler[2]), daß die Zerstreuung zu Mattsee im Sommer hohe Werte annimmt morgens und abends nach Sonnenuntergang, in der dazwischen liegenden Tageszeit kleinere Werte aufweist mit einem kleinen sekundären Maximum um 3 Uhr. H. v. Ficker und A. Defaut[3]) beobachten im Dezember einen täglichen Gang der Zerstreuung, der sich genau dem Wintertypus meiner Kurven anschließt: ein Maximum kurz nach Sonnenaufgang, ein zweites nach Sonnenuntergang; zwischen beiden ein sekundäres Maximum um 2 Uhr. Die Ionenzählungen von A. A. Daunderer[4]) liefern

1) P. H. Dicke, Terr. Magn. and Atm. El. XI. 3. S. 125—129, 1906.

2) E. Ritter v. Schweidler, Sitzungsber. der kais. Akademie der Wiss. Wien CXIV. 2a, S. 1705—1735, 1905.

3) H. v. Ficker und A. Defaut, ebenda S. 151—165, 1905.

4) A. Daunderer, Diss. d. techn. Hochschule München, 1908.

einen täglichen Gang, der sich im Winter ganz mit dem täglichen Gange des Austretens der Emanation deckt, im Sommer mit meinem Sommertypus im großen und ganzen gut zusammenstimmt.

4. Ursachen des Emanationsaustrittes.

An erster Stelle zu nennen von allen Ursachen, die den Austritt von radioaktiver Emanation aus dem Erdboden veranlassen, ist die durch die Insolation verursachte Erwärmung des Erdbodens, auf deren bedeutenden Einfluß auf die Gestaltung der elektrischen Verhältnisse der Atmosphäre besonders H. Ebert[1]) in seiner Theorie über den Elektrizitätshaushalt in der Atmosphäre wiederholt hingewiesen hat.

Die zeitlichen Unterschiede in der Erwärmung des Bodens gegenüber der darüber befindlichen Luft im Verein mit der Ausstrahlung des Bodens verursachen einen Austausch zwischen der in den Erdkapillaren eingeschlossenen, emanationsreichen Bodenluft mit den untersten Schichten der Freiluft, den man mit dem Namen „Bodenatmung“ bezeichnen kann, eine Erscheinung, die wohl in der Hauptsache bestimmend ist für den Gang der elektrischen Elemente in der Atmosphäre.

Die Bedeutung der Bodenatmung für das Austreten der radioaktiven Emanation aus dem Erdboden erhellt am besten aus der Tatsache, daß durch sie allein der tägliche Gang dieses Elementes geregelt wird.

Das Erscheinen der ersten Sonnenstrahlen bewirkt ein lebhaftes Aufsteigen jener Luftpartien, die in unmittelbarer Berührung mit dem die Wärmestrahlen stark absorbierenden Erdboden stehen. Die Emanationskurve

---

1) H. Ebert, Met. Zeitschrift XXI., S. 201, 1904; Phys. Zeitschrift V, S. 135, 1904; Phys. Zeitschrift V, S. 499, 1904; VI, S. 825, 1905; VI. S. 828, 1905. —

zeigt kurz nach Sonnenaufgang ihr erstes Maximum. Der nach Sonnenuntergang noch längere Zeit andauernde Konvektionsstrom von der Erde in die Atmosphäre gibt Veranlassung zur Ausbildung des zweiten Maximums, das sich nach Sonnenuntergang einstellt. Das um Mittag auftretende sekundäre Maximum findet seine Erklärung in dem um diese Zeit auftretenden Maximum der Temperatur der Bodenoberfläche[1]), dem das Maximum der Lufttemperatur erst nach 2 Stunden folgt. Für die absteigende Bewegung der q-Werte am Vormittage, Nachmittage und während der Nacht ist der Rückgang der starken Bodenatmung, der einerseits durch den Ausgleich der Temperatur zwischen Boden und angrenzender Luftschicht, andererseits durch Abnahme des aufsteigenden Konvektionsstromes bedingt ist, verantwortlich zu machen.

Der beste Beweis für die Giltigkeit des Gesagten ist der, daß immer dann, wenn durch irgend welche Umstände die Sonnenwirkung abgeschnitten, also die Ursache der Bodenatmung unterbunden wird, auch die Maxima der Emanationskurve nicht oder nur mangelhaft ausgebildet sind.

Ich glaube auch, die notwendige Scheidung des täglichen Ganges des Emanationsaustrittes in Sommertypus und Wintertypus ausschließlich auf das verschiedene, gegenseitige Verhalten der Temperaturkurven des Bodens und der darüber befindlichen Luft im Sommer und Winter[2]) zurückführen zu dürfen. Im Sommer liegt die Bodentemperatur nicht nur während des ganzen Tages, sondern auch während der Nacht über der Lufttemperatur, so daß der bei Sonnenuntergang einsetzende Konvektionsstrom von der wärmeren Erde in die Atmosphäre während der Nacht andauert und die Ausbildung des Nacht-

1) Hann, Lehrbuch der Meteorologie, S. 39, 1906.
2) Hann, Lehrbuch der Meteorologie, S. 54, 1906.

minimums beschränkt oder hindert. Im Winter dagegen sinkt während der Nacht die Bodentemperatur unter die Temperatur der Luft. Der Konvektionsstrom, der bei Sonnenuntergang von der Erde in die Atmosphäre gerichtet ist, kehrt bald seine Richtung um und gibt dadurch Veranlassung zum Fallen der Emanationskurve, die ihren tiefsten Stand zur Zeit der größten Abkühlung des Bodens gegenüber der Luft erreicht. Das Zusammenrücken des Sonnenunterganges mit dem Sonnenaufgang vom Winter zum Sommer im Verein mit dem bereits geschilderten Verhalten der Bodenwärme bedingt dann den Unterschied in der Form zwischen Sommerkurve und Winterkurve.

Als weiterer Faktor, der den Austritt der radioaktiven Emanation aus dem Boden in die Luft bewirkt, kommt die Diffusion in Betracht. Nach den Gesetzen für die Diffusion der Gase muß aus der mit radioaktiver Emanation stark angereicherten Bodenluft die Emanation ständig in die emanationsarme Freiluft diffundieren und das um so stärker, je größer der Konzentrationsunterschied der beiden angrenzenden Luftarten ist. Die Diffusion der Emanation ist, wie die theoretischen Betrachtungen von H. Mache[1]) dartun, ein sicher nicht zu unterschätzendes Moment für die Bewegung der Emanation aus dem Erdboden in die freie Atmosphäre. Ihren Einfluß jedoch zahlenmäßig festzulegen, dürfte, da er selbst variabel und von anderen meteorologischen Elementen abhängig ist, recht schwer fallen.

Ich habe noch eine Ursache des Austretens der radioaktiven Emanation aus dem Boden zu nennen, die nach meiner Auffassung bisher viel zu wenig gewürdigt wurde: die saugende Wirkung des Windes. Jeder

1) H. Mache, Sitzungsber. der kais. Akademie der Wissensch. Wien, CXIV, 2a, S. 1380—1383, 1905.

über den Erdboden streichende Luftstoß schafft hinter sich einen luftverdünnten Raum, wie die Aufzeichnungen eines auf der Saugwirkung des Windes beruhenden Röhrenanemometers (pressure tube Anemometer) beweisen. In diesen luftverdünnten Raum muß Luft aus den Nachbargebieten, wo größerer Druck herrscht, also auch aus den Erdkapillaren, nachströmen, wobei naturgemäß auch radioaktive Emanation mitgeführt wird. Diese saugende Wirkung der bewegten Luft, die, wie S. Günther[1]) berichtet, oft außerordentlich stark auftreten kann, ist eine Erscheinung, der mehr als gelegentliche Bedeutung zukommt. Ist es doch eine Erfahrungssache, daß sehr selten nur wirkliche Windstille herrscht. Daher werden wir an den meisten Tagen und namentlich am Tage mit ihr zu rechnen haben.

Diese drei angeführten Ursachen sind es wohl, die im großen und ganzen das Austreten der radioaktiven Bodenluft veranlassen und den Gang desselben regulieren. Selbstverständlich spielen auch die einzelnen meteorologischen Elemente, die in ihrer Gesamtheit als „das Wetter" zu bezeichnen sind, eine oft deutlich hervortretende Rolle. Ihr Einfluß soll in den folgenden Abschnitten behandelt werden.

5. Einfluß der Bewölkung.

Durchgängig wurde die Beobachtung gemacht, daß bei bedecktem Himmel das Austreten der Emanation aus dem Boden geringer ist, als bei Sonnenschein. Überblickt man die einzelnen Registrierstreifen, so sieht man, daß die Tageskurven durch dieses Moment wesentlich verändert erscheinen. An ganz bedeckten Tagen liegt das Tagesmittel unter dem Monatsmittel. Fehlt am Nachmittage der Sonnenschein, so tritt das Abendmaximum

1) S. Günther, Beiträge zur Geophysik, S. 71—152, 1893.

nur schwach oder gar nicht auf. Auch das Morgenmaximum erscheint an sonnenlosen Tagen meist etwas gedrückt, wenngleich bei diesem der Einfluß des bedeckten Himmels nicht in dem Maße bemerkbar ist als beim Abendmaximum. Oft zeigt sich an Tagen, an denen die Sonne die Wolken bis Mittag nicht durchbricht, das mittägige, sekundäre Maximum besonders stark ausgebildet.

Stellt man die Tagesmittel der im cm^3 in der Sekunde gebildeten Ionenzahl zusammen mit der Sonnenscheindauer an den betreffenden Tagen, so zeigt sich ein unverkennbarer Parallelismus in der Form, daß kurzer Sonnenscheindauer immer auch geringes Austreten von Emanation, mithin ein kleines Tagesmittel entspricht. Auf Tafel V Figur III ist diese Zusammenstellung für den Monat März 1907 durchgeführt.

Eine dem Bedeckungsgrade entsprechende Abstufung der austretenden Emanationsmenge läßt sich aus dem vorhandenen Material nicht mit Sicherheit ermitteln.

Dagegen steht fest, daß die verschiedenen Wolkenformen von verschiedenen Mengen austretender Emanation begleitet sind. Die folgende Tabelle 3 sei der Beweis hiefür.

Tabelle 3.

Wolkenform	Cirrus	Cumulus	Stratus	Nimbus	Wolkenlos
q/cm^3 u. sec.	272	422	303	281	355

Die unter den einzelnen Wolkenformen verzeichneten Ionenzahlen sind Mittelwerte aus allen beim Auftreten der betreffenden Wolkenform registrierten Stundenmitteln.

Es ist aus der Tabelle zu ersehen, daß gerade die

Wolkenform, die durch die dynamische Abkühlung frei aufsteigender, feuchter Luftmassen gebildet wird, die Cumuluswolke, von lebhaftem Austreten der Emanation begleitet ist. Die Cirruswolke dagegen, deren Bildung durch mehr oder weniger gleichartige, oft isotherme Schichtung der Atmosphäre begünstigt wird, hat geringes Austreten von Emanation im Gefolge.

Auffallend geringe Mengen von Emanation treten zu Zeiten aus dem Boden aus, wo eine Nebelschicht sich über die Gegend lagert. Bodennebel charakterisieren ja stets ein stabiles, vertikales Gleichgewicht in den unteren Schichten der Atmosphäre. Erst beim Zerreißen des Nebels treten aufsteigende Luftströme auf und dann beginnt auch die Emanation in größerer Menge den Boden zu verlassen. Diese Tatsache konnte besonders in Zusmarshausen studiert werden, wo der Wasserreichtum der Gegend während der Beobachtungszeit des öfteren Anlaß zur Bildung von Bodennebeln gab. Nachstehende Tabelle 4 gibt die Beobachtungsresultate während des Nebels selbst und beim Zerreißen desselben.

Tabelle 4.

Tag	Nebel		Nebel zerreißt	
	Stunde	q/cm³ u. sec.	Stunde	q/cm³ u. sec.
1. April 1905	7—8 h a.	172	9—10h a.	552
14. „ 1905	7—8 h a.	46	9—10h a.	241
15. „ 1905	7—8 h a.	71	9—10h a.	136
16. „ 1905	7—8 h a.	44	11—12h a.	206
20. „ 1905	7—8 h a.	61	10—11h a.	217
	9—10h a.	70		
21. „ 1905	7—8 h a.	80	11—12h a.	295
	9—10h a.	77		

Auch bei Bestimmung des Emanationsgehaltes der Freiluft zeigt sich ein ähnlicher Einfluß der Bewölkung.

P. H. Dicke[1]) findet, daß der in der Freiluft enthaltene Betrag an radioaktiver Emanation größer ist an heiteren Tagen als an trüben. Bei Nebel beobachtet er einen sehr niedrigen Wert, der zu einem hohen Betrag ansteigt, sobald der Nebel sich verzieht. W. Saake[2]) berichtet, daß der Emanationsgehalt der Luft bei Nebel äußerst niedrig ist, desgleichen J. Jaufmann[3]).

Das lebhafte Austreten von Bodenluftemanation bei Cumulusbildung muß naturgemäß auch eine Steigerung der Ionisierung der Luft bewirken. Dies bestätigt P. Czermak[4]), der die größten Werte der Zerstreuung bei starker Cumulusbildung findet.

6. Einflufs der Lufttemperatur.

Ein Zusammenhalten des täglichen Ganges der Lufttemperatur mit dem täglichen Gange des Austretens der Bodenluftemanation läßt zu keiner Zeit einen kausalen Zusammenhang der beiden Elemente erkennen.

Ordnet man dagegen Lufttemperatur und Emanationsmenge nach Tagesmitteln, wie es auf Tafel V Figur II für den Monat März 1907 geschehen ist, so zeigt sich, daß im allgemeinen ein Steigen der Temperatur ein Abnehmen des austretenden Emanationsbetrages zur Folge hat und umgekehrt. Auch für die Sommermonate wurde dasselbe Resultat gefunden. Wiederholt konnte durch Vergleich der Thermogramme mit den Registrierkurven konstatiert werden, daß bei längerer Konstanz der Temperatur auch nur geringe Änderungen der austretenden Emanationsmenge auftreten. Beispielsweise änderte sich

---

1) P. H. Dicke, Terr. Magn. a. Atm. El. XI, 3, S. 125 bis 129, 1906.

2) W. Saake, Phys. Zeitschrift IV, 23, S. 626—632, 1903.

3) J. Jaufmann, Beob. d. met. Stationen in Bayern, Bd. XXIX, S. C 29, Jahrg. 1907.

4) P. Czermak, Phys. Zeitschrift IV, 9, S. 271, 1903.

in der Zeit vom 19. März 1907 2 h p. bis 20. März 10 h a. die Temperatur im Maximum nur um 0,6°. An der Registrierkurve sind Abend- und Morgenmaximum nur sehr schwach ausgebildet, der Höchstwert liegt um 21 Ionen pro cm^3 und sec. über dem Mittelwert, der Mindestwert um 34 darunter.

Bei der Bestimmung des Emanationsgehaltes der freien Atmosphäre findet G. C. Simpson[1]) denselben Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Emanationsmenge: Sinkender Temperatur entspricht ein Anstieg der Radioaktivität.

Der Ionengehalt der Atmosphäre jedoch läßt diesen Zusammenhang nirgends erkennen.

7. Einfluſs der relativen Luftfeuchtigkeit.

Ebenso wenig wie der tägliche Gang der Lufttemperatur läßt auch der tägliche Gang der relativen Luftfeuchtigkeit einen Einfluß auf den täglichen Gang des Austretens radioaktiver Emanation aus dem Erdboden kenntlich hervortreten.

Dagegen zeigt die Zusammenstellung der Tagesmittel der ausgetretenen Emanationsmenge mit den Tagesmitteln der relativen Feuchtigkeit der Luft für den Monat März 1907 [Tafel V Figur IV] fast genau einen spiegelbildlichen Verlauf der beiden Elemente. Ich sehe von der Anführung weiterer Belege ab, kann aber konstatieren, daß auch während der Messungen durchweg die Beobachtung gemacht wurde, daß ein Sinken der Luftfeuchtigkeit ein lebhafteres Austreten von Emanation im Gefolge hat und umgekehrt ein Steigen der Feuchtigkeit von kleineren q-Werten begleitet ist.

1) G. C. Simpson, Phys. Zeitschrift VI, S. 270—273, 1905.

J. Jaufmann[1]) konnte das gleiche Verhalten zwischen relativer Luftfeuchtigkeit einerseits und der in der freien Atmosphäre vorhandenen Emanationsmenge andererseits feststellen. Auch seine Resultate, erhalten durch Messung der Aktivität eines der Freiluft ausgesetzten, negativ geladenen Drahtes, zeigen deutlich den spiegelbildlichen Verlauf beider Elemente.

Die Zerstreuungsmessungen und Ionenzählungen in der freien Atmosphäre führen vielfach zu dem Ergebnis, daß die in der freien Luft enthaltenen Ionenzahlen bei wachsendem Feuchtigkeitsgehalt kleiner werden. So finden V. Conrad[2]), A. Gockel[3]) A. A. Daunderer[4]) und andere abnehmende Ionenzahlen bei zunehmender Feuchtigkeit. Diese Abnahme der Ionenzahlen bei zunehmender Feuchtigkeit ist nicht allein dem Einfluß der Feuchtigkeit auf die Beweglichkeit der Ionen zuzuschreiben, wie man nach den Geschwindigkeitsmessungen von A. Gockel[5]) und E. Ritter v. Schweidler[6]) anzunehmen geneigt sein könnte. Vielmehr wird dabei wohl auch das bei starkem Feuchtigkeitsgehalt verringerte Austreten von Emanation eine bedeutende Rolle spielen.

8. Einfluſs des Luftdruckes.

Die Zusammenstellung der Tagesmittel des Luftdruckes mit den Tagesmitteln der ausgetretenen Ema-

1) J. Jaufmann, Beob. d. met. Stat. im Königreich Bayern, Bd. XXIX, S. C 30, Jahrg. 1907.

2) V. Conrad, Sitzungsber. d. Kais. Akademie d. Wissensch. Wien, CXI, 2a, S. 341, 1902.

3) A. Gockel, Koll. Frib. IV, S. 2, 1902.

4) A. A. Daunderer, Diss. d. techn. Hochschule München, S. 65—67, 1908.

5) A. Gockel, Met. Zeitschrift XXI, S. 38, 1904.

6) E. Ritter v. Schweidler, Sitzungsber. d. Kais. Akademie d. Wissensch. Wien, CXIV, 2a, S. 1720, 1905.

nationsmenge ist auf Tafel V Figur I für den Monat März 1907 gemacht. Das Diagramm rechtfertigt in keiner Weise die Vermutung, daß hohem Luftdruck niedrige Werte der Emanation entsprechen und niedrigem Luftdrucke hohe Emanationswerte. Vielmehr könnte aus demselben eher auf einen im allgemeinen parallelen Gang der beiden Elemente geschlossen werden. Dieser Schluß ist jedoch nicht berechtigt. Bei Heranziehung aller meiner Meß- und Registrierergebnisse komme ich zu dem Resultate, daß sich ein deutlich hervortretender Einfluß des Ganges des Luftdruckes auf das Austreten von Bodenluftemanation nicht erkennen läßt.

Damit soll aber keineswegs gesagt sein, daß ein Einfluß des Luftdruckes überhaupt nicht vorhanden ist. Vielmehr bin ich der Ansicht, daß der Einfluß der Barometerschwankungen durch eine Summe anderer, stärker wirkender Ursachen vielfach überdeckt ist und daher nicht in die Augen fällt. Dies gilt, solange es sich um langsam erfolgende Änderungen des Barometerstandes, die ja die Regel sind, handelt.

Anders ist es, wenn plötzliche Änderungen des Luftdruckes auftreten. Hier zeigen auch die Registrierkurven zur selben Zeit, wo das Barogramm eine plötzliche Änderung des Luftdruckes in der Form der sogen. Nase aufweist, momentan auftretende Störungen, die stets in entgegengesetzter Richtung verlaufen wie die gleichzeitigen Barometeränderungen. Diese Erscheinung tritt so sicher auf, daß man aus den Registrierkurven allein jede plötzliche Barometeränderung erkennen kann. Als typisches Beispiel des Gesagten ist auf Tafel VII die Kopie der Registrierkurve vom 23. März 1907 zusammengestellt mit dem Barogramme desselben Tages. Daran ist zweifellos zu erkennen, daß bei plötzlicher Entlastung der untersten Luftschichten ein ebenso plötzliches Ausströmen von Emanation einsetzt; so z. B. um 2 h a., 1 h p., 4 h p. u. s. w.

Daß der Einfluß des Barometerganges auf den Gehalt der Bodenluft an radioaktiver Emanation nicht sicher festzustellen ist, berichtet auch H. Brandes[1]). Er glaubt, bei hohem Drucke im allgemeinen vielfach niedrigen Emanationsgehalt konstatieren zu können, fügt aber einschränkend bei: „doch war dies nicht ausnahmslos der Fall". Der Einfluß momentaner Änderungen des Luftdruckes mußte ihm bei seiner Meßmethode entgehen.

Nicht weniger schwer zu erkennen ist ein Einfluß des täglichen Ganges des Luftdruckes auf den täglichen Gang des Austretens der Bodenluftemanation. Auf Tafel VI ist der tägliche Gang beider Elemente für die Monate März, April, Mai, Juni 1907 dargestellt. Die Kurven zeigen eine auffallende Ähnlichkeit mit verhältnismäßig guter Koinzidenz der Maxima und Minima. Die Luftdruckkurve zeigt ebenfalls für die Sommermonate das Zusammenrücken von Abend- und Morgenmaximum und die dadurch bedingte Abschwächung des Nachtminimums wie die Emanationskurve.

Wie die Betrachtung der Kurven zeigt, ist es nicht angängig, den täglichen Gang des Austretens der Bodenluftemanation als verspätet eintretende Wirkung des täglichen Ganges des Luftdruckes aufzufassen. Stehen Gang des Luftdruckes und Gang des Emanationsaustrittes im Verhältnis von Ursache und Wirkung zu einander, so müssen nach den theoretischen Ausführungen von H. Mache[2]) auf die Maxima und Minima des Luftdruckes die Maxima und Minima des Emanationsaustrittes folgen. Es liegt aber sowohl das Morgen- wie das Abendmaximum des Emanationsaustrittes durchwegs vor dem Morgen- und Abendmaximum des Luftdruckes, während

1) H. Brandes, Inaug.-Diss. Kiel 1905.

2) H. Mache, Sitzungsber. d. Kais. Akademie d. Wissensch. Wien, CXIV, 2a, S. 1377—1388, 1905.

die Minima ziemlich gleichzeitig auftreten. An einen Zusammenhang des Ganges des Luftdruckes mit dem Gange des Emanationsaustrittes, so, daß ersterer die Ursache des letzteren ist, kann also auch unter Annahme von Phasendifferenzen nicht gedacht werden.

Bildet man $\delta B = B_{(t+1)} - B_t$, stellt also den täglichen Gang der Luftdruckänderung fest, so muß nach Mache diese Kurve den spiegelbildlichen Verlauf der Emanationskurve aufweisen. Auch dies ist keinesfalls durchwegs der Fall, wie die Darstellung auf Tafel VI zeigt, wiewohl durchaus nicht zu verkennen ist, daß Übereinstimmungen mit dem verlangten Verhalten vorliegen. Besonders auffallend ist das zeitliche Zusammenfallen des um Mittag auftretenden sekundären Maximums der Emanationskurve mit dem Minimum der δB-Kurve um diese Zeit. Ich halte aber trotzdem die Übereinstimmung im Gange der δB-Kurve mit der Emanationskurve für nicht genügend, um daraus auf einen deutlich sichtbaren Einfluß der täglichen Barometeränderung auf den täglichen Gang des Emanationsaustrittes zu schließen.

Ich gelange zusammenfassend zu demselben Schlusse, zu dem auch B. Zölß[1]) bei der Untersuchung des Einflusses des Luftdruckes auf den Gang der Zerstreuung in Freiluft auf Grund eines zweijährigen Beobachtungsmateriales geführt wird: „Es ist ein nicht zu bezweifelnder Einfluß des Luftdruckes vorhanden, der aber durch andere Umstände oft vollständig verdeckt wird".

Die verhältnismäßig gute Übereinstimmung des täglichen Ganges des Luftdruckes und des Emanationsaustrittes und ebenso ihre gleichmäßige Abänderung beim

1) B. Zölß, Sitzungsber. d. Kais. Akademie d. Wissensch. Wien, CXIV, 2a, S. 189—331, 1905.

Übergange vom Winter zum Sommer können sogar die Vermutung wachrufen, daß beide Elemente in ihrem täglichen Gange durch dieselbe Ursache geregelt werden, nämlich durch Temperaturänderungen der unteren Luftschichten [1]).

9. Einfluß des Windes.

In Anbetracht der unfreien Lage der Münchener Beobachtungsstellen mußte darauf verzichtet werden, die Beobachtungsresultate auf ihre Abhängigkeit von der Windrichtung zu untersuchen. Auch die Zusmarshausener Meßergebnisse lassen eine Untersuchung auf den Einfluß der Windrichtung nicht zu, da während der ganzen Beobachtungszeit — März bis Mai — Westwind vorherrschte und die übrigen Windrichtungen nur vereinzelt auftraten.

Dagegen kann aus den erhaltenen Resultaten mit Sicherheit ein Einfluß der Windstärke erkannt werden. Größere Windstärken, etwa von Stärke 3 an, verursachen durchwegs ein merklich lebhafteres Austreten radioaktiver Emanation aus dem Erdboden. Wächst die Windstärke, so wächst im allgemeinen der emporquellende Emanationsbetrag, doch fällt der höchste Emanationswert nicht immer auch mit der höchsten Windgeschwindigkeit zusammen.

An Tagen, an denen durchwegs stärkerer Wind weht, liegt das Tagesmittel weit über dem Monatsmittel. Windstille Tage haben Tagesmittel, die unter dem betreffenden Monatsmittel liegen.

Nachstehende Tabelle soll ein Bild geben von dem Emporquellen der radioaktiven Emanation unter dem Einfluß des Windes. Die Zahlen der Spalten 2, 3 und 4 haben als Benennung: Ionen pro sec. im ccm.

1) Vgl. R. Börnstein, Phys. Zeitschrift VII, S. 836—837, 1906.

Tabelle 5.

Tag	Monatsmittel	Tagesmittel	Beobacht. Höchstwert	Zeit des Höchstwertes	Windrichtung und Stärke 7h	2h	9h	Nähere Angaben über den Wind
I. Messungen in Zusmarshausen 1905.								
5. IV.	246	708	902	8—9a	W_4	W_5	W_6	starker Regen
7. IV.	246	363	1550	7—8p	W_2	W_3	W_6	7h p Schneest.
8. IV.	246	386	1142	7—8a	W_5	NW_1	C	a Schnee 1—2
2. V.	230	336	691	8—9a	W_4	NW_3	W_2	—
II. Messungen in München 1906.								
10. I.	252	320	374	3—4p	W_3	SW_5	SW_3	2p W. stoßw.—8
13. I.	252	318	439	6—7p	SW_1	SW_3	SW_5	8p windig
26. II.	279	—	1400	5—6p	SW_2	SW_4	SW_4	2p stürm. Wind
2. III.	293	—	864	6—7p	SW_6	SW_7	SW_7	p windig
9. III.	293	704	1265	12—1p	SW_6	SW_4	SW_2	2p W. stoßw.—7
16. III.	293	796	1086	7—8p	SW_4	SW_5	SW_6	7a „ „ „
17. III.	293	342	506	10—11a	SW_4	NW_3	SW_1	2p „ „ „
III. Registrierungen in München 1907.								
20. III.	314	289	731	8—9p	SW_5	SW_6	SW_2	2h p W. stoßw.—9
22. III.	314	486	657	7—8p	SW_2	W_2	SW_3	—
23. III.	314	553	819	7—8a	NW_2	NW_3	NW_2	Schnee u. Grau-
1. V.	350	421	577	8—9p	SW_2	SW_2	SW_3	— [pel-Böen
Windstille Tage:								
25. III. 07	314	227	—	—	SW_1	C	C	
12. V. 07	350	185	—	—	SE_1	C	C	
15. V. 07	350	209	—	—	C	SE_1	C	

Diese deutlich erkennbare Steigerung des austretenden Emanationsbetrages bei Wind ist eine Folge der saugenden Wirkung des Windes. Fehlt an einem Tage diese mechanische Ursache, so drückt sich dieses Fehlen durch niedriges Tagesmittel aus. Besonders deutlich konnte ich bei Windstößen das vermehrte Emporquellen der Emanation während der subjektiven Messungen erkennen. Jeder einzelne Windstoß verursacht in unmittelbarer Folge eine plötzliche Steigerung der im ccm in

der Sekunde gebildeten Ionenzahl, eine Mehrung, die jedoch kaum einige Minuten bestehen bleibt, um dann in die freie Atmosphäre sich zu verlieren.

Auch der in der freien Atmosphäre enthaltene Betrag an radioaktiver Emanation scheint bei zunehmender Windstärke größer zu werden. Verschiedene Beobachter, so namentlich B. Zölß[1]), E. Mazelle[2]) und andere, konstatieren eine deutlich wahrnehmbare Zunahme der Zerstreuung bei zunehmender Windstärke, eine Erscheinung, die wohl durch das vermehrte Austreten von Emanation bei zunehmender Windstärke zum Teil wenigstens erklärt werden kann.

Es ist hier der Ort, auf eine weitere Erscheinung hinzuweisen, die meines Erachtens ebenfalls durch die Bewegung der Luft verursacht wird. Es ist mir schon bei den Messungen aufgefallen, daß bei 5 Minuten Beobachtungsdauer die für die einzelnen Minuten abgelesenen Werte keineswegs gleich groß sind, sondern, wie das auf Seite 13 angezogene Beispiel dartut, beträchtlich von einander abweichen. Noch stärker fallen diese raschen Änderungen in der austretenden Emanationsmenge auf, wenn man die Registrierkurven näher ansieht. Trotz vorzüglicher Dämpfung des Meßinstrumentes weist die von dem Lichtzeiger gezeichnete Kurve meist sehr rasch aufeinander folgende, mehr oder weniger stark ausholende Zacken auf, die in ihrer schnellen Aufeinanderfolge die Linie vielfach zum Bande verbreitern. Die nach dem Originale hergestellte Fensterpause auf Tafel VII läßt diesen raschen zeitlichen Wechsel der in dem Beobachtungsraum wirksamen Emanationsmenge erkennen. Besonders an windigen Tagen treten diese Zacken außer-

1) B. Zölß, Sitzungsber. d Kais. Akademie d. Wissensch. Wien, Bd. CXIV, 2a, S. 179—331, 1905.

2) E. Mazelle, ebenda, S. 399—501, 1905.

ordentlich zahlreich und groß auf, während an windstillen Tagen und bei Nacht die Kurve ein mehr kontinuierlicher Linienzug ohne Sprünge ist.

Als Ursache dieser Erscheinung kommt meines Erachtens nur die „innere Unruhe des Windes“ in Betracht. Denn bei der Art der Meßanordnung sind sowohl Störungen mechanischer Natur wie auch Störungen durch Potentialschwankungen vollständig ausgeschlossen.

Selten ist die Luft vollständig ruhig. Aber das, was wir Wind nennen, ist nicht eine gleichförmige Bewegung von Luftteilchen, sondern eine diskontinuierliche, stoßweise Bewegung von größeren Luftmassen. Die einzelnen Stöße sind durch schwächere Luftbewegung oder Windstille getrennt und folgen rasch aufeinander[1]).

Jeder einzelne Stoß nun, der über den Boden streicht, saugt aus dem Boden je nach seiner Intensität mehr oder weniger emanationsreiche Bodenluft aus und bedingt in der Versuchsanordnung ein Emporschnellen der pro Sekunde gebildeten Ionenzahl. Da die ausgesaugte Emanationsmenge rasch in die Freiluft sich verteilt, kann der erhöhte Wert nicht bestehen, sondern sinkt ebenso rasch auf den Ausgangswert zurück. Daß wirklich diese stoßweise Bewegung der Luft im Winde die Ursache der Struktur der Kurven ist, beweist auch der Umstand, daß bei Nacht, wo erfahrungsgemäß die Bewegung der Luft nur gering ist oder ganz fehlt, auch die Kurven einen ruhigeren Verlauf zeigen.

10. Emanationsmenge bei Föhncharakter.

Eine auffallende Steigerung der den Erdboden verlassenden Emanationsmenge tritt auf, wenn unter Föhnstimmung der warme Süd- und Südwestwind hereinbricht. Leider hatte ich nicht oft genug Gelegenheit, den Aus-

1) Vgl. J. Hann, Lehrbuch der Meteorologie, S. 284, 1906.

tritt der Bodenluftemanation bei dieser Wetterlage zu verfolgen, um eine quantitative Angabe über die Steigerung der austretenden Emanationsmenge machen zu können. Immerhin aber glaube ich, durch die beiden nachfolgenden Beispiele den Beleg für das eingangs erwähnte Verhalten des Emanationsaustrittes bei Föhncharakter erbringen zu können. Die erste Tabelle gibt den Verlauf des Austretens der Emanation während einer mehrtägigen Föhnperiode sowohl vor als nach Eintritt der eigentlichen Föhnstimmung. Die zweite Tabelle soll zeigen, wie der Anstieg der Temperatur und die Abnahme der Feuchtigkeit von dem gleichzeitig auftretenden Anstieg der austretenden Emanationsmenge begleitet wird.

Tabelle 6.

Tag	Mittlere Tagestemperatur	Mittlere relative Feuchtigkeit	Tagesmittel Ionen cm³ u. sec.	Windrichtung und Stärke	Witterungsangaben
15. März 1906	2,5°	88%	201	W_{1-2}	a Schnee schmilzt, bedeckt. 2 h p Regen⁰, etwas windig. 6 h p Regen⁰⁻¹.
16. März	9,0°	74%	796	SW_{4-6}	n windig u. Regen bis 8 h a, 7 h a. Wind stoßweise −7, a windig. 2 h p Gebirge schwach sichtbar. Wind stoßweise −7 4^{34} h p. an zeitweise Regen⁰⁰.
17. März	11,4°	70%	342	SW_{3-1}	n windig, a etw. windig, heiter, 2 p windstill, 6 p windstill.
19. März	9,1°	71%	194	NW_1	a heiter, 2 h p bewölkt, 6 h p bedeckt, 9 h p Schnee⁰⁻¹.
20. März	−0,2°	92%	203	NW_1	n Schn. a. Schn.⁰⁻¹, etwas wind. 2 h p Schnee⁰⁻¹.

Tabelle 7.

22. März 1907. Wetterlage: n Reif, a leichter Dunst, p Sonnenring, Föhnstimmung, 2 h p ganze Gebirgskette gut sichtbar, SW_{2-3}.

Tageszeit	N-2	2—4	4—6	6—8	8-10	10-M	M-2	2—4	4—6	6—8	8-10	10-N
Ionen /cm u. sec.	396	431	373	527	462	284	375	469	571	646	653	654
Temperatur	1,5°	0,9°	0,8°	0,8°	1,9°	3,7°	5,4°	6,3°	6,3°	6,3°	6,3°	6,3°
Relat. Feuchtigkeit	79%	75%	70%	62%	45%	34%	26%	28%	34%	34%	37%	47%

Als Ursache dieses lebhaften Austrittes der radioaktiven Emanation aus dem Erdboden dürfte wohl der bei Föhnstimmung immer einsetzende, lebhaft wehende Wind im Verein mit der niedrigen relativen Feuchtigkeit anzusehen sein.

Auch bei allen Messungen der Aktivität der freien Atmosphäre ist diese außerordentliche Steigerung der in der Luft enthaltenen Emanationsmenge bei Föhn und Föhncharakter festgestellt worden. Beispielsweise findet J. Jaufmann[1]) auf der Zugspitze, daß bei Föhn die dreifache mittlere Aktivität meist erreicht, die fünffache selten überschritten wird. A. Gockel[2]) weist aus seinen eigenen Beobachtungen und aus denen von W. Saake[3]) nach, daß an Föhntagen Aktivierungszahlen von 100 bis 150 ja bis 420 auftreten. Er betont, daß diese gesteigerte Aktivität aus den höheren Luftschichten stammt, eine Ansicht, der man nach dem Gesagten wohl beifügen kann, daß der auf der einen Gebirgsseite aufsteigende und auf der andern Seite abfallende Luftstrom auf diesem Wege durch mechanisches Ansaugen von Emanation aus dem überstrichenen Gebiet diesen erhöhten Emanationsgehalt erhalten haben kann, den er beim Einfall ins Tal mitbringt.

---

1) J. Jaufmann, Beob. d. met. Stat. im Königreich Bayern, Bd. XXIX, S. C 27, Jahrg. 1907.

2) A. Gockel, Phys. Zeitschrift V, S. 593, 1904; Met. Zeitschrift XXIII, S. 63 und S. 341, 1906.

3) W. Saake, Phys. Zeitschrift IV, S. 873, 1903.

Naturgemäß muß als Wirkung des gesteigerten Emanationsaustrittes bei Föhnwind auch ein den Mittelwert weit übersteigender Ionenreichtum der Freiluft auftreten. In der Tat erwähnen auch alle Beobachter, die Gelegenheit hatten, bei Föhn oder Föhnlage Messungen anstellen zu können, die auffallende Erscheinung. C. W. Lutz[1]) konstatiert eine wesentliche Steigerung der Zerstreuungswerte bei Föhnlage. Bei Einsetzen eines frischen Föhnwindes steigen die Werte auf ein Vielfaches der an gewöhnlichen, heiteren Tagen beobachteten an. P. Czermak[2]) sagt, daß jeder Tag mit Föhnwind gegen die anderen durch auffälliges Ansteigen der Zerstreuung herausfällt. A. A. Daunderer[3]), der infolge der günstigen Lage seines Beobachtungsortes wiederholt Ionenzählungen während Föhncharakter vornehmen konnte, findet abnorm hohe Werte der Luftelektrizität an Föhntagen.

11. Emanationsaustritt und Gewitter.

Auffallend ist das Verhalten der Registrierkurve vor und während eines Gewitters. Die Kurve weist bereits vor Beginn des Gewitters rasch aufeinander folgende, weit ausholende Zacken auf, die auf ein stoßweise erfolgendes, vermehrtes Austreten von Emanation schließen lassen. Einzelne Zacken überschreiten sogar den durch die Größe des photographischen Papieres gegebenen Meßbereich, was einer Emanationsmenge entspricht, die pro sec. im ccm 2500 Ionen und mehr zu bilden vermag. Dabei kann, wie bereits oben erwähnt ist, durchaus nicht eine direkte Beeinflussung von seiten des elektrischen Erdfeldes angenommen werden, was auch schon daraus hervorgeht, daß vielfach die Potentialregistrierkurve ganz ruhig verläuft, während die Unruhe bei der Emanationskurve bereits eingesetzt hat.

1) C. W. Lutz, Diss. d. techn. Hochschule München, 1904.
2) P. Czermak, Phys. Zeitschrift IV, S. 271, 1903.
3) A. A. Daunderer. Diss. d. techn. Hochschule München, 1908.

Die Unruhe des Elektrometers setzt wie bereits erwähnt, immer schon vor Eintritt des Gewitters ein und zwar, wie mir scheint, bei Wirbelgewittern nur um wenige Minuten verfrüht, während Wärmegewitter schon 1 bis 2 Stunden vorher ihre Ankunft bemerkbar machen. Die Unruhe wird mit Losbruch des Gewitters allmählich geringer und hört gegen Ende des Gewitters ganz auf.

Vergleicht man den gleichzeitigen Verlauf des Barogrammes, so sind an demselben meist gleichzeitig auftretende Störungen zu merken, die oft die charakteristische Form der Gewitternase zeigen.

In nachstehender Tabelle 8 sind die während der Registriermonate aufgetretenen Gewitter aufgezählt. Das gleichzeitige Verhalten des Barogrammes und der Registrierkurve ist beigesetzt.

Tabelle 8.

Tag	Eintritt u. Dauer des Gewitters	Dauer der Unruhe des Elektrom.	Art des Gewitters	Nähere Angaben über das Gewitter	Verhalten des Barogrammes
9. März 1907	5^{45} a	5^{35}—6^{45} a	Wirbelgewitter	2 mal. Donner. Schneetreiben.	Gewitternase um 5^{45} a.
14. März	1^{57} p	1^{45}—2^{00} p	Wirbelgewitter	1 mal. Donner. Schneegestöber.	Gewitternase um 1^{50} p.
7. Mai	4^{51}—5^{20} p	4^{45}—5^{20} p	—	Gewitter in SE—N Donner hörbar. Kein Niederschlag.	—
12. Juni	2^{56}—4^{58} p	1^{00}—4^{45} p	Wärmegewitter	2 Gewitter über d. Stadt. Starke Blitzschläge um 3^{57}, 3^{58}, 4^{00}, 4^{09}. Einzelne Graup. Starker Regen.	Gewitternasen um 2^{40} u. 3^{30} p.
12. Juni auf 13. Juni	8^{21}—9^{56} p	7^{20}p—1^{15} a	Wärmegewitter	Gewitter im S—SE—NE. Wetterleuchten die ganze Nacht. Regen 0^{-1} von 7^{42} bis 10^{30}.	Starke, rasch aufeinander folgende Störung. d. Barogrammes von 7^{20}p—8^{h} a.

Ich glaube richtig zu gehen, wenn ich als Ursache des gestörten Verlaufes der Registrierkurve bei Gewitter die lebhafte Bewegung der Luft, die sich oft, namentlich zu Beginn des Gewitters bis zum Gewittersturm steigert, auffasse: Das Einsetzen des Sturmes bewirkt ein energisches Ansaugen von Emanation aus dem Boden, die beim Passieren der Versuchsanordnung ihre Wirkung durch gesteigerte Ionenbildung äußert. Beim Abflauen des Sturmes verteilt sich die plötzlich herausgerissene Emanationsmenge rasch im Luftraum, was einem Zurückschwinden des Zackens an der Registrierkurve entspricht. Erneutes Einsetzen des Sturmes hat die Bildung eines neuen Zackens zur Folge. Auch die, namentlich bei Wärmegewittern, lebhaft auftretende Cumulusbildung mag nicht ohne Einfluß auf den Gang der Registrierkurve sein.

Ob die gleichzeitig auftretenden Störungen des Luftdruckes, die sich als Gewitternasen am Barogramm ausdrücken, als bestimmende Ursachen oder aber als Begleiterscheinungen, die durch dieselbe Wirkung bedingt sind, aufzufassen sind, will ich nicht entscheiden.

Das vermehrte Austreten von Emanation vor und während eines Gewitters muß sich auch durch Auftreten erhöhter Zerstreuungswerte in der freien Atmosphäre kund tun. In der Tat beobachtet E. Ritter v. Schweidler[1]), daß unmittelbar vor und während eines Gewitters oft abnorm hohe Werte Z_+ und Z_- der Zerstreuung auftreten. Auch P. Czermak[2]) hebt die hohen Werte der Zerstreuung vor einem Gewitter hervor und

1) E. Ritter v. Schweidler, Sitzungsber. d. Kais. Akademie d. Wissensch. Wien, Bd. CXIV, 2a, S. 1713, 1905.

2) P. Czermak, Denkschr. d. Wiener Akademie S. 54, 76, 85, 1903.

A. A. Daunderer[1]) findet unmittelbar vor und während eines Gewitters sehr hohe Ionenzahlen in der Atmosphäre. —

12. Emanationsaustritt und Potentialgefälle.

Bei der Zusammenstellung des täglichen Ganges des Emanationsaustrittes mit dem täglichen Gange des Potentialgefälles für die einzelnen Beobachtungsmonate leitete mich der Gedanke, daß zu der Zeit, zu der ein Maximum des Emanationsaustrittes statt hat, ja wohl auch ein gesteigertes Austreten von bereits in den Erdkapillaren gebildeten Ionen auftreten muß.

Wenn nun Ionen aus einem Raume mit hoher Ionenkonzentration durch ein Diaphragma, das hier durch die obersten Erdschichten gegeben ist, in einen Raum mit niedriger Ionenkonzentration, die Freiluft, übertreten, so gibt eine überwiegende Zahl negativer Ionen an das Diaphragma ihre Ladung ab, eine Überzahl positiver Ionen verläßt die Erdkapillaren. Diese Erscheinung, die von H. Ebert[2]) durch zahlreiche Versuche, bei denen ich assistieren durfte, festgestellt und geklärt wurde, trägt sicher zur Erhaltung des normalen atmosphärischen Potentialgefälles bei, so daß eine Änderung dieses Momentes im Gange des Potentialgefälles zu erkennen sein muß. Wirklich zeigen auch die auf Tafel VIII Figur I gegebenen Kurven für den Monat März auffallende Ähnlichkeit. Im Monat April fällt das Morgenmaximum und das sekundäre Mittagsmaximum der Emanationskurve zusammen mit gleichzeitigen und allein auftretenden Maximis der Potentialkurve. Das Abendmaximum er-

1) A. A. Daunderer, Dissert. d. techn. Hochschule München, 1908.

2) H. Ebert, Phys. Zeitschrift V, S. 135—140, 1904. Jahrbuch d. Rad. u. Elektronik, Bd. III, S. 61—92. 1906.

reicht die Potentialkurve schon um 7 h p. Im Monat Mai hat die Potentialkurve ihr Morgenmaximum um 7 h a, um Mittag tritt ein sekundäres Maximum auf, dem eine Einsattelung bis 7 h p folgt. Das Abendmaximum folgt zwischen 9 und 10 h abends. Die geringste Übereinstimmung weisen Emanationskurve und Potentialkurve im Monate Juni auf [Tafel VIII Fig. II]. Die Erscheinung ist um so auffallender, als man ja eigentlich erwarten sollte, daß eine Erhöhung der austretenden Emanationsmenge auch eine Erhöhung der Leitfähigkeit der Luft und damit eine Herabminderung der Potentialwerte zur Folge habe.

Es ist klar, daß der Gang der beiden Elemente sich unmöglich bis ins Detail entsprechen kann. Wird doch der Gang des Potentialgefälles auch durch Faktoren beeinflußt, die auf das Austreten von Bodenluftemanation sicher ohne Einfluß sind. Immerhin glaube ich, daß eine Ähnlichkeit des Ganges beider Elemente vorliegt, die damit erklärt werden könnte, daß zur Zeit vermehrten Austrittes von Bodenluftemanation auch ein lebhaftes Austreten von ionenreicher Bodenluft mit seinen Wirkungen stattfindet.

Die immerhin bemerkenswerte Ähnlichkeit im Gange der beiden Elemente: Emanationsaustritt und Potentialgefälle könnte man auch auf andere Weise zu erklären versucht sein.

In letzter Zeit ist immer mehr die Ansicht durchgedrungen, daß überall über der Erde eine stark durchdringende Strahlung vorhanden ist[1]). H. Mache und Travis Rimmer[2]) sind der Meinung, daß als Quelle

---

1) H. Geitel, Verh. d. deutschen phys. Ges. VIII. Jahrg., Nr. 3, S. 1—38, 1906.

2) H. Mache und Travis Rimmer, Phys. Zeitschrift VII, S. 617—620, 1906.

dieser Strahlung die in der Luft suspendierten und durch das Erdfeld auf dem Boden abgelagerten Induktionen, unter denen wohl vor allem das dritte Zerfallsprodukt der Radiumemanation, Radium C, in Frage kommt, anzusprechen sind. Nach den Messungen beider Herren sowohl wie nach denen von A. Wood[1]) zeigt diese durchdringende Strahlung eine tägliche Periode, die sich mit der des Potentialgefälles deckt. Nach Mache und Rimmer läßt sich die übereinstimmende Periode beider Elemente dahin deuten, daß zur Zeit der Maxima des Potentialgefälles auch die Strömung der radioaktiven Induktionen gegen die Erde ihren Höchstwert erreicht.

Dieser Ansicht folgend könnte man daran denken, daß der Gang der Ionenbildung im Beobachtungsraum auch abhängig ist vom Gange des Potentialgefälles insoferne, als durch den Gang desselben mehr oder weniger ionenbildende Induktionen mit sehr durchdringenden Strahlen gegen den Boden getrieben werden.

Die Möglichkeit, auf diese Weise den ähnlichen Gang von Emanationsaustritt und Potentialgefälle zu erklären, halte ich nicht für gegeben. Fürs erste ist die Beobachtungsstelle dem Erdfeld vollständig entzogen. Ist doch über derselben eine Hütte erbaut, die zudem noch unter dem das Erdfeld abschirmenden Geäst hochgewachsener Bäume steht. Fürs zweite ist, wie auf Seite 23 erwähnt, bei den Registrierungen der Außenzylinder des Versuchskondensators stets positiv geladen, stößt also die ebenfalls positive Ladung führenden Induktionen von sich ab. Zudem ist die Änderung der durchdringenden Strahlung im Laufe des Tages außerordentlich gering; weichen doch, wie die von Mache und Rimmer angegebenen Zahlen erkennen lassen,

1) A. Wood, Nature 73, S. 583, 1906.

Maximum und Minimum vom Mittel nur um 2 bis 3 Prozent des Mittels ab.

Damit soll nicht gesagt sein, daß die durchdringende Strahlung bei der getroffenen Versuchsanordnung überhaupt nicht als ionenbildendes Agens in Betracht kommt. Die im Beobachtungsraum selbst entstehenden Zerfallsprodukte werden wohl ionenbildend wirken und so die Größe von q, das ist der in der Sekunde im ccm gebildeten Ionenzahl beeinflussen. Dagegen können die durch das Potentialgefälle gegen die Erde getriebenen Zerfallsprodukte aus der freien Atmosphäre den Gang von q bei der getroffenen Versuchsanordnung in keiner Weise modifizieren. —

13. Mathematischer Ausdruck für den Gang des Emanationsaustrittes.

Sir W. Thomson[1]) [Lord Kelvin] sagte: „Das erste, was nach meiner Meinung mit den Beobachtungen geschehen soll, um sie für wissenschaftliche Zwecke nützlich zu machen, ist, sie mit Hilfe der harmonischen Analyse zu reduzieren".

Dieser Anregung folgend habe ich einen täglichen Gang des Austrittes der Bodenluftemanation des Wintertypus und des Sommertypus der harmonischen Analyse unterworfen. Die mathematische Formel, durch die der tägliche Gang des Emanationsaustrittes im Monate März 1907 dargestellt wird, lautet:

$$\begin{aligned} E_t = 314 &- 28{,}27 \cdot \sin\,(99^0\,18' - n \cdot t) \\ &- 66{,}84 \cdot \sin\,(171^0\,16' - 2\,nt) \\ &+ \;3{,}17 \cdot \sin\,(124^0\,42' - 3\,nt) \\ &+ 25{,}85 \cdot \sin\,(178^0\,55' - 4\,nt) \\ &+ \ldots\ldots \end{aligned}$$

1) W. Thomson, Report of the Treasuree Committee, S. 94. London 1877.

Für den Monat Mai desselben Jahres lautet die Formel:

$$\begin{aligned} E_t = 350 &+ 70{,}65 \sin (95^0\ 46' - n \cdot t) \\ &+ 38{,}77 \cdot \sin (215^0\ 11' - 2\ nt) \\ &- 20{,}60 \cdot \sin (125^0\ 17' - 3\ nt) \\ &- 14{,}32 \cdot \sin (199^0\ 33' - 4\ nt) \\ &+ \ldots\ldots \end{aligned}$$

wo E_t die zu einer bestimmten Tagesstunde aus dem Erdboden austretende Emanationsmenge gemessen durch die pro Sekunde im ccm gebildete Ionenzahl bedeutet, $n = 15^0$ ist und t die Tagesstunden von 0 bis 23 durchläuft.

Die Formeln sind nicht fehlerfrei. Aus Mangel an Beobachtungsmaterial konnte der Einfluß des jährlichen Ganges aus dem Gange während der einzelnen Monate nicht eliminiert werden.

Trotzdem lassen sie einige Schlüsse zu. Zunächst erkennt man durch Vergleich der Amplituden, daß beim Wintertypus die zweifache tägliche Periode überwiegt, beim Sommertypus aber die einfache. Der Vergleich der Phasenzeiten läßt erkennen, daß die einfache Periode im Winter und Sommer angenähert denselben Phasenwinkel aufweist, also zeitlich annähernd gleich verläuft. Dagegen ist der Phasenwinkel der zweimal in 24 Stunden erfolgenden Schwingung für Winter und Sommer sehr verschieden, was darauf hinzeigt, daß gerade durch die Verlagerung der doppelten täglichen Periode der Unterschied zwischen Winter- und Sommertypus in der Hauptsache bewirkt wird. —

14. Zusammenfassung der Hauptergebnisse.

1. Durch Messungen allein den Gang des Austretens der Emanation aufzudecken, ist außerordentlich mühsam. Das Problem verlangt unbedingt Registrierung.
2. Die von Bronson gegebene Methode der konstanten Ausschläge eignet sich vorzüglich zur Registrierung der den Boden verlassenden Emanationsmenge. Als radioaktive Substanz des Nebenschlußwiderstandes hat sich Polonium ausgezeichnet bewährt.
3. Den Erdboden verläßt ständig eine Emanationsmenge, die hier im cm^3 in 1 sec. 306 Ionen bildet. 1 cbm austretender Bodenluft vermag also im Mittel einen Sättigungsstrom von 0,1 E. S. E. zu unterhalten.
4. Als wichtigste Ursache für das Austreten der Bodenluftemanation ist die Insolation zu nennen.
5. Die Sonnenstrahlung reguliert die vertikale Aufwärtsbewegung der Luft und damit auch den Gang der den Erdboden verlassenden Emanationsmenge.
6. Bewölkung ist Abschirmung der Sonnenstrahlung. Die austretende Emanationsmenge bei bedecktem Himmel ist geringer als bei offener Sonne.
7. Cumuluswolken haben vermehrtes, Cirruswolken vermindertes Austreten von Emanation zur Folge.
8. Das Austreten der Emanation zeigt im allgemeinen den spiegelbildlichen Verlauf des Ganges der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit.
9. Ein Einfluß des Ganges des Luftdruckes auf das Austreten der Emanation läßt sich nicht mit Sicherheit erkennen.
10. Wind fördert durch seine saugende Wirkung den Emanationsaustritt. Dies gilt auch für Föhnwind.

11. Der vor einem Gewitter einsetzende Gewittersturm gibt zu ungewöhnlich lebhaftem Austreten radioaktiver Emanation Anlaß.

Zum Schlusse will ich es nicht versäumen, Herrn Professor Dr. H. Ebert für die liebenswürdige Förderung der Arbeit durch Rat und Tat meinen besten Dank auszusprechen.

München, am 20. Juni 1909.

Endrös.

Tafel VIII.